



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE PLACAS CIMENTÍCIAS  
PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS PRODUZIDAS COM CPR  
BASEADAS NO SISTEMA GRC**

João Marcos Sartori

Lajeado, novembro de 2018

João Marcos Sartori

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE PLACAS CIMENTÍCIAS  
PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS PRODUZIDAS COM CPR  
BASEADAS NO SISTEMA GRC**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Rafael Mascolo

Lajeado, novembro de 2018

Alfredo Henrique Giovanaz

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE PLACAS CIMENTÍCIAS  
PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS PRODUZIDAS COM CPR  
BASEADAS NO SISTEMA GRC**

A banca examinadora abaixo aprova a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Etapa II, do Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof.Dr Betina Hansen, UNIVATES.

Doutora pela UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Prof.Ms. Rodrigo Spinelli, UNIVATES.

Mestre pela PUC, Porto Alegre, Brasil.

Orientador:

Prof.Ms. Rafael Mascolo, UNIVATES.

Mestre pela UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Lajeado, dezembro de 2018

## RESUMO

As vantagens da pré-fabricação juntamente com a necessidade de avanços tecnológicos na construção civil, são fatores que impulsionam a produção de elementos em concreto armado fora do canteiro de obra. Em contrapartida, o elevado peso dos mesmos, torna-se um fator limitante de seu uso, abrindo espaço para a pesquisa e o desenvolvimento de novos materiais. Na tentativa de aliar as vantagens da pré-fabricação com a substituição dos elementos de vedação por materiais mais leves e de resistência mecânica equivalente, pensou-se em elaborar um estudo que buscasse unir as vantagens do sistema construtivo GlassFiber Reinforced Cement (GRC) com as do Concreto de Pós Reativos (CPR), através da elaboração de placas para revestimentos de fachadas. As mesmas foram produzidas com CPR com a adição de fibras, neste caso as de polipropileno, utilizando-se do método de fabricação prémix, usado para a produção de placas em GRC. Com o intuito de avaliar as propriedades mecânicas, juntamente com a influência das fibras de polipropileno, decidiu-se variar os teores de fibra em 0%, 2% e 4%, onde as placas foram submetidas aos ensaios de flexão e absorção de água. O resultado obtido para a tensão de flexão aos 28 dias foi de 13,03 MPa para as placas com 0% de fibras, 11,94MPa com 2% e 11,70 MPa com 4% de fibra, nota-se um maior valor para a placa de 0% de fibra, porém, através da análise de dados pela variância ANOVA e pelo teste Tukey, verificou-se que as médias se assemelham, portanto, não se pode afirmar se houve influência das fibras nessa propriedade. Já para a absorção de água verificou-se uma redução aos 7 dias quando comparadas as placas com 0% e 4% de fibras, enquanto que a placa com 2% teve média semelhante as outras médias, sendo constatado pela análise de múltiplas médias do método da variância ANOVA.

**Palavras Chaves:** Placas de revestimentos de fachada; Concreto de Pós Reativos (CPR); GRC.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Passarela de Sherbrook.....	25
Figura 2: Fachada do edifício garagem na ULBRA-Canoas.....	35
Figura 3: Fachada do ginásio de esportes da ULBRA-Canoas .....	36
Figura 4: Fluxograma do programa experimental.....	39
Figura 5: Materiais devidamente separados.....	43
Figura 6: Recorte dos testemunhos para o ensaio de absorção de água .....	44
Figura 7: Ensaio de consistência.....	45
Figura 8: Obtenção das placas para o ensaio de absorção de água .....	46
Figura 9: Obtenção das placas para o ensaio de flexão .....	47

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Granulometria .....	40
Gráfico 2: Absorção de água da placa com 0% de fibra .....	56
Gráfico 3: Absorção de água da placa com 2% de fibra .....	57
Gráfico 4: Absorção de água da placa com 4% de fibra .....	58
Gráfico 5: Média da absorção de água no primeiro dia .....	60
Gráfico 6: Médias da absorção de água aos 7 dias .....	62
Gráfico 7: Médias da absorção de água da placa com 0% de fibra ao longo do tempo .....	63
Gráfico 8: Médias da absorção de água da placa com 2% de fibra ao longo do tempo .....	64
Gráfico 9: Médias da absorção de água da placa com 4% de fibra ao longo do tempo .....	64
Gráfico 10: Resistência à flexão aos 7 dias das placas com 0% de fibra.....	66
Gráfico 11: Resistência à flexão aos 7 dias das placas com 2% de fibras.....	66
Gráfico 12: Resistência à flexão aos 7 dias da placa com 4% de fibras .....	67
Gráfico 13: Média das placas para a resistência à flexão aos 7 dias .....	69
Gráfico 14: Resistência a flexão aos 28 dias da placa com 0% de fibra .....	69
Gráfico 15: Resistência à flexão da placa com 2% de fibra .....	70
Gráfico 16: Resistência à flexão da placa com 4% de fibra aos 28 dias .....	71
Gráfico 17: Média da resistência à flexão das placas aos 28 dias .....	73
Gráfico 18: Média das resistência à flexão ao longo do tempo da placacom 0% de fibra. ....	74
Gráfico 19: Média da resistência à flexão ao longo do tempo das placas com 2% de fibra .....	74

Gráfico 20: Médias da resistência à flexão da placa com 4% de fibra ao longo do tempo  
.....75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variância ANOVA da absorção de água nas primeiras 24 horas .....	59
Tabela 2: Teste Tukey para a absorção de água nas primeiras 24 horas.....	60
Tabela 3: Análise da variância da absorção de água aos 7 dias .....	61
Tabela 4: Teste Tukey para a absorção de água aos 7 dias.....	62
Tabela 5: Análise da variância da resistência à flexão .....	68
Tabela 6: Teste Tukey para a resistência à flexão aos 7 dias.....	68
Tabela 7: Análise da variância para as médias da resistência à flexão aos 28 dias .	72
Tabela 8: Teste Tukey para a resistência à flexão aos 28 dias.....	72



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Traço do CPR.....	19
Quadro 2: Traço unitário, em massa, utilizado para a elaboração do estudo .....	38
Quadro 3: Comprimento do recorte em função da espessura.....	47
Quadro 4: Combinações de carga e tipos de carga .....	49
Quadro 5: Variações de espessura pelo processo de fabricação .....	49
Quadro 6: Valores de $\gamma_b$ .....	49
Quadro 7: Fator de segurança .....	50
Quadro 8: Tensões por retração em N/mm <sup>2</sup> .....	50
Quadro 9: Tensões térmicas em N/mm <sup>2</sup> .....	51

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Justificativa.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Estrutura da pesquisa.....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Concreto de pós reativos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1 Dosagem de concreto de pós reativos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.2 Propriedades mecânicas do CPR .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.3 Aplicações do Concreto de Pós Reativos.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Fachadas Pré-fabricadas Arquitetônicas de Concreto .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Placas Pré-fabricadas em GRC (Glass Reinforced Cement) .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1 Dosagem do GRC .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.2 Materiais.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.3 Tipo de painéis em GRC .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.4 Propriedades Mecânicas dos Painéis GRC.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.5 Vantagens e Desvantagens do Sistema GRC .....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.6 Aplicações do sistema GRC.....</b>	<b>35</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Materiais.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 Métodos.....</b>	<b>41</b>

3.2.1 Verificação das propriedades no estado fresco .....	44
3.2.2 Verificação das propriedades no estado endurecido .....	45
3.2.2.1 Absorção de água .....	45
3.2.2.2 Ensaio completo de flexão .....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
4.1 Absorção de água .....	55
4.2 Resistência à flexão .....	65
5 CONCLUSÕES .....	76
REFERÊNCIAS.....	78

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o concreto e o aço são os materiais mais utilizados na construção civil. Porém, muito se sabe sobre o aço e pouco sobre o concreto, e isso acontece devido ao aço possuir condições de fabricação rigidamente controladas com suas propriedades definidas em laboratório antes de sua fabricação. Enquanto que o concreto de cimento Portland, mesmo quando produzido em usinas, está susceptível a alterações no transporte, no lançamento e especialmente no adensamento (NEVILLE; BROOKS, 2013)

Inúmeros são os tipos de concretos fabricados atualmente, sendo que muitos deles recebem algum material específico com objetivo de melhorar seu desempenho, e assim por consequência, acabam agregando o nome da substância que fora incorporada, como por exemplo concreto reforçado com fibra (METHA; MONTEIRO, 2014). A NBR 8953 (ABNT 2014), divide, em termos de resistência à compressão, o concreto em dois grupos, sendo eles o grupo I que possui resistências variando de 20 MPa a 50 MPa e o grupo II que variam de 55 MPa a 100 MPa.

A possibilidade de menores relações de água/cimento, de melhores condições de cura térmica, com e sem pressão aplicada, de novos métodos de dosagem e dos aperfeiçoamentos dos aditivos, impulsionaram o desenvolvimento de novos materiais cimentícios. O CPR é resultado dessas evoluções e melhorias, pois exclui-se os agregados graúdos da mistura e se incorpora fibras, diminui-se a relação água/cimento e acrescenta-se aditivos superplastificantes, podendo obter resistência mecânica à compressão na ordem de 200MPa. Quando adicionado cura térmica com pressão aplicada, é possível obter valores de resistência à compressão na casa dos 800MPa e valores de resistência à flexão que podem chegar aos 10% da resistência

à compressão, com melhorias na porosidade, na retração durante o período de cura e na ductilidade que pode superar a de uma rocha basáltica (VANDERLEI, 2004).

A necessidade de obras cada vez mais rápidas e de maior qualidade demanda crescimento e modernização dos processos de fabricação de elementos em concreto armado. Com a modernização obtemos ganhos de produtividade, diminuição das perdas de materiais e redução nos custos de produção, sendo essas as premissas dos pré-fabricados, relata Almeida (2010).

Nesse contexto está inserido o GRC, que é um método de pré-fabricação de placas cimentícias voltado para o revestimento de fachadas. São constituídas da mistura de cimento, areia, normalmente na proporção de 1:1, e fibras de vidro. As fibras garantem uma melhora na distribuição dos esforços, o que possibilita uma espessura fina e conseqüentemente, um menor peso total, quando comparada com placas elaboradas em concreto convencional, que requer maior espessura. Em contrapartida a baixa espessura limita as dimensões longitudinais das peças, aumentando o número de juntas na fachada, além da alta probabilidade de fissuração devido ao alto consumo de cimento (VICENZI, 2015).

Tendo em vista as desvantagens do sistema GRC, decidiu-se propor melhorias, através da incorporação do CPR. Portanto, este trabalho consiste em avaliar a viabilidade técnica da substituição do concreto utilizado na produção do GRC pelo CPR, mantendo o método de cálculo e a maneira de fabricação utilizadas no sistema GRC. Além disso será avaliado a influência de diferentes teores de fibras de polipropileno na resistência mecânica à flexão e na absorção de água.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Estudar a viabilidade técnica de placas pré-fabricadas para revestimento de fachadas, elaboradas em concreto de pós reativos, tendo como base o sistema GRC e possuindo enfoque na avaliação das propriedades mecânicas.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- avaliar as propriedades mecânicas das placas de concreto de pós reativos;
- avaliar a taxa de absorção de água das placas de concreto de pós reativos;
- avaliar a influência do teor de fibras de polipropileno nas propriedades físicas e mecânicas das placas de concreto de pós reativos;

### 1.2 Justificativa

A busca por processos executivos mais rápidos, ou seja, por maior produtividade, impulsiona os estudos para o desenvolvimento de novos materiais e de novas técnicas de produção, neste caso, a do elemento fachada.

Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) relatam que o sistema de pré-fabricação na construção civil não se trata de um sistema novo, mas sim um sistema que vem sofrendo alterações desde seu surgimento até o momento. Conforme os mesmos autores, os pré-fabricados são vantajosos, pois diminuem o desperdício de material desde a moldagem até a execução (a montagem das peças na obra) e aumentam a produtividade, o que consequentemente possibilita ganhos na velocidade de execução da obra e no fator econômico.

Em relação ao CPR, o mesmo pode ser utilizado em diversas áreas da construção civil, já que possui propriedades mecânicas de alto desempenho, o que proporciona vencer grandes vãos com menores espessuras. Os principais ganhos do CPR, quando comparado com o concreto convencional, são a elevada resistência à compressão, a alta durabilidade, o aumento na homogeneidade e a melhoria na resistência à tração e à flexão pela adição de fibras (VANDERLEI, 2004).

Visto isso, propõem-se elaborar elementos de vedação pré-fabricados compostos de CPR (Concreto de Pós Reativos), com o intuito de se obter menores espessuras das placas e consequentemente maior leveza, aumentando assim a velocidade de execução das fachadas.

### **1.3 Estrutura da pesquisa**

O estudo está dividido em 5 capítulos. O primeiro consiste na parte introdutória e nos objetivos. O segundo capítulo resume-se em elaborar uma pesquisa bibliográfica em artigos, livros e teses, com o intuito de colher informações e conhecimentos sobre concreto de pós reativos, estruturas pré-fabricadas de fachadas e os elementos pré-fabricados em GRC.

Posteriormente, no terceiro capítulo é apresentado o programa experimental, o qual consiste em indicar os procedimentos a serem realizados para a caracterização dos materiais e os ensaios que as placas serão submetidas. Após a definição do programa experimental encontra-se o quarto capítulo que descreve os resultados obtidos. No último capítulo encontra-se a conclusão do trabalho, que é seguida do referencial do estudo.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Concreto de pós reativos**

O CPR é um tipo de concreto composto somente por partículas finas, com diâmetro máximo de 2mm, possuindo um bom comportamento à resistência mecânica. Quando adicionado fibras a mistura, melhora-se propriedades como a resistência à tração e à flexão. Por se tratar de um material relativamente novo, suas propriedades mecânicas e seu comportamento estrutural ainda estão sendo estudados, mas já se sabe que a maior dificuldade está na obtenção do mesmo, já que necessita de uma alta precisão de dosagem (VANDERLEI; GIONGO, 2006).

Para Mallmann (2013), o CPR apresenta-se como um material promissor na área de materiais de construção civil, já que apresenta maior capacidade de carga e menor permeabilidade. Segundo a autora, o CPR, vem sendo utilizado internacionalmente em estruturas pré-moldadas.

Com os avanços da tecnologia, as melhorias nas propriedades dos concretos e a necessidade de concretos com propriedades melhores para determinados tipos específicos de obra, fez surgir novos tipos de concreto com propriedades melhoradas. Os concretos mais utilizados são os Convencionais e os de Alto Desempenho, este por sua vez, surge das melhorias dos concretos convencionais (CC) que atingem resistências superiores, além de melhorarem propriedades como a trabalhabilidade e a durabilidade. Os concretos de ultra-alto desempenho (CAUD), dentre os quais está o CPR, surgem como um avanço tecnológico do CAD, atingindo resistências superiores à de uma rocha (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011)



Segundo Vanderlei (2004) o CPR possui método de fabricação muito similar ao CC, o que os difere é a relação água/cimento da mistura, que varia entre 0,1 a 0,2, e a ausência de agregado graúdo, além de ser composto por materiais de granulometria inferior a 2mm.

A ausência de agregados graúdos reduz o risco da formação de planos de ruptura, que ocorrem quando os agregados graúdos se alinham em uma direção, fazendo com que a resistência mecânica, dependa exclusivamente da interação dos materiais constituintes. Com a não utilização dos agregados graúdos, se melhora o fator de empacotamento de partículas, aumentando a densidade pela melhor distribuição granulométrica, conseqüentemente, obtemos um concreto com melhor ductilidade, impermeável à água e aos gases (SERAFIM; LICETTI, 2012).

### **2.1.1 Dosagem de concreto de pós reativos**

Para termos uma boa dosagem de CPR, Vanderlei e Giongo (2006) indicam que devesse analisar primeiramente os efeitos da curva granulométrica na mistura, onde se espera melhorar a densidade da mesma. A utilização de pressão e cura térmica também influenciam nas propriedades mecânicas do concreto. A pressão influencia diretamente na redução do ar incorporado na mistura, no excesso de água, na retração química, e a cura térmica está relacionada com a resistência à compressão, pois resulta em uma estrutura mais densa.

A cura térmica úmida ativa as reações da sílica, conduzindo a uma melhor cristalização dos hidratos do compósito, onde os ganhos de resistência não são mais significativos quando aplicados com pressão a temperaturas superiores a 90° C, pois a pressão diminui a quantidade de ar incorporado a mistura. Os ganhos de resistência são proporcionais ao tempo em que o material fica submetido ao tratamento térmico, porém, tempo demais pode causar fissurações e diminuir a densidade do CPR (VANDERLEI, 2004)

Os materiais que são empregados no CPR devem ser analisados separadamente já que possuem características específicas que devem ser levadas em consideração em concretos de ultra resistência. O elemento que necessita de uma

maior atenção no momento da escolha é o cimento, pois o mesmo está diretamente ligado à resistência mecânica e deve ser compatível com o tipo de aditivo escolhido (BIZ, 2001)

A seguir serão listados os principais componentes do concreto de pós reativos.

- **Cimento Portland:** por definição, cimento Portland é um cimento hidráulico que é produzido através da pulverização de clínqueres ricos em silicatos de cálcio hidráulicos cristalinos e uma pequena quantidade de calcário (METHA; MONTEIRO, 2014).

Os compostos mais importantes obtidos na fabricação do cimento são os silicatos, pois se responsabilizam pela resistência da pasta de cimento hidratada (NEVILLE; BROOKS, 2013).

De acordo com Neville (2016) a finura do cimento acontece em uma das últimas etapas de fabricação, onde são misturados o clínquer com o sulfato de cálcio e encaminhados a moagem. Como a hidratação do cimento começa em sua superfície, pode-se dizer que um cimento mais fino possui uma maior área de contato, e por consequência tende a ter as reações aceleradas. Contudo, se as reações forem aceleradas a resistência inicial é maior, e consequentemente o calor de hidratação também aumenta.

Os tipos de Cimento Portland mais indicados para a elaboração de um CPR são os granulometria mais fina, comercialmente denominados de CP I e CP IV ARI, sendo mais utilizado o segundo, pois o primeiro não é comercializado no Brasil. Porém recomenda-se um estudo prévio das vantagens e desvantagens dos tipos de cimento, considerando também os cimentos nem tão finos e nem tão puros como o CP II (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011)

Conforme Vanderlei (2004), os cimentos com baixos teores de aluminatos ( $C_3A$ ) obtém melhores resultados, em termos de resistência e de durabilidade. O mesmo autor ainda comenta que do ponto de vista reológico, o melhor cimento é o que possui maiores teores de sílica, em contrapartida possuem pega retardada, podendo ser prejudicial em algumas aplicações.

Buscando estudar as influências que os tipos de cimento Portland têm sobre o CPR, Serafim e Licetti (2012) analisaram a resistência à compressão, o índice de absorção de água e a resistência à tração pelo ensaio de compressão diametral, de um traço aplicável para CPR, expresso no Quadro 1, nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias, variando os tipos de cimento, sendo eles o CP-II-Z-32, CP-IV-32 e o CP-V-ARI. Para a elaboração do traço, além dos cimentos citados anteriormente, foram utilizados areia fina, pó de quartzo, sílica ativa, aditivo superplastificante e fibra de polipropileno, em suas devidas proporções. Os processos de cura foram divididos em dois, sendo 7 dias de cura térmica a 90°C e 21 dias a cura úmida em temperatura ambiente.

Quadro 1: Traço do CPR

MATERIAL (TRAÇO CPR)	QUANTIDADE DE MATERIAL EM Kg
CIMENTO	0,750
SILICA ATIVA	0,112
PÓ DE QUARTZO	0,320
ÁGUA	0,170
ADITIVO SUPERPLATIFICANTE	0,041
FIBRAS DE POLIPROPILENO	0,002
AREIA RETIDA NA PENEIRA 0,6 mm	0,620
AREIA RETIDA NA PENEIRA 0,3 mm	0,410
AREIA RETIDA NA PENEIRA 0,15 mm	0,270
AREIA RETIDA NA PENEIRA 0,075 mm	0,180
AREIA FUNDO DAS PENEIRAS	0,030

Fonte: Serafim e Licetti (2012), adaptação do autor.

Os resultados mostram que os resultados encontrados para o cimento CP II-Z ficaram distantes dos alcançados pelos demais cimentos ensaiados. Os corpos de prova do CP V ARI e do CP IV 32 obtiveram resistências à compressão muito próximas aos 7 e 28 dias, mas nos dias 1 e 3 o CP V ARI obteve maiores resistências, pois o mesmo é caracterizado cimento de alta resistência inicial. Já na análise da absorção de água, ambos os cimentos atingiram resultados menores que 1%, sendo 0,71% para o CP IV 32 e 0,58% para o CP V ARI. Por fim na análise do ensaio de compressão diametral, notaram que os valores para os corpos de prova do CP IV 32 atingiram resultados melhores que os demais traços, mas os de CP V ARI não ficaram muito distantes.

- **Agregados miúdos:** ao retirar o agregado graúdo da mistura, aumenta-se a homogeneidade da composição, ampliando a superfície do esqueleto granular, desta forma, melhora também a distribuição das tensões (ANDRADE, 2015).

Os parâmetros para a classificação das areias levam em consideração a composição mineral, a granulometria e a forma das partículas. É preferível utilizar uma areia oriunda da rocha quartzo, pois a mesma possui propriedades mecânicas consideradas ótimas para a fabricação de concretos que são alta dureza, excelente interface pasta/agregado, além da fácil obtenção no mercado e do baixo custo (VANDERLEI, 2004).

De acordo com Biz (2001) ao definir a areia como o agregado de maior dimensão, a permeabilidade do concreto diminui, através da redução dos poros capilares e vazios na mistura. A utilização de frações de areia limitadas dentro de uma certa faixa granulométrica auxilia na formação de um conjunto de partículas de matriz contínua, que estão diretamente relacionadas ao bloqueio localizado da retração da pasta.

A composição granulométrica do concreto de pós reativos é de suma importância. Por esse motivo, as areias devem possuir um diâmetro máximo de 600  $\mu\text{m}$  e um diâmetro mínimo de 150  $\mu\text{m}$  (MALLMANN, 2013).

- **Pó de Quartzo:** o uso do pó de quartzo auxilia na compacidade, quando misturado com a areia, além de apresentar uma elevada reatividade quando submetido a elevadas temperaturas, aumentando assim a resistência final do concreto (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Conforme Biz (2001) o uso de pó de quartzo é justificável, pois ele complementa a distribuição granulométrica auxiliando na diminuição dos vazios, além de ter alta reatividade quando submetido a temperaturas elevadas de cura. O autor ainda complementa dizendo que no concreto convencional, o agregado graúdo e o agregado miúdo têm função de enchimento, formando um esqueleto rígido que funciona como um bloqueador de parte da retração da pasta o qual resulta em uma maior porosidade. No caso do CPR os agregados não formam um esqueleto rígido e sim um conjunto de elementos de granulometria pequena aprisionadas em uma matriz contínua, resultando em um bloqueio localizado da retração não existindo um bloqueio global.

O pó de quartzo geralmente é utilizado na mesma faixa granulométrica do cimento, auxiliando a sílica ativa, tendo seu melhor funcionamento quando submetido a cura térmica (MALLMANN, 2013).

- **Aditivo superplastificante:** devido à baixa relação água/cimento, o uso de aditivos superplastificantes é imprescindível, pois os mesmos garantem a trabalhabilidade do concreto, (MALLMANN, 2013).

Segundo Biz (2001) os aditivos superplastificantes são responsáveis pela dispersão das partículas de cimento na pasta do concreto, aumentando assim a fluidez da mistura. Muitos são os aditivos encontrados no mercado, e os que mostraram melhores resultados foram os aditivos a base de polímeros acrílicos, nos termos de maior redução de água e um menor abatimento.

Os aditivos superplastificantes são aditivos redutores de água com elevado desempenho, os quais atuam carregando as moléculas do cimento negativamente com intuito de causar o afastamento das mesmas, impedindo que elas interajam entre si, aumentando assim a trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 2016).

Uma correta determinação do ponto de saturação do aditivo superplastificante é de suma importância, para que o mesmo não funcione como a água. Além disso, deve se considerar a quantidade de sólidos no aditivo e a compatibilidade entre o cimento e o aditivo (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

- **Sílica ativa:** a sílica atua quimicamente e fisicamente na mistura. Ela preenche os vazios, aumenta as propriedades reológicas e produz hidratos secundários pela reação pozolânica com a cal (VANDERLEI, 2004).

Ainda segundo o autor as adições pozolânicas como a sílica ativa são bastante efetivas no aumento da resistência, pois reagem quimicamente e fisicamente através do aumento da densidade da matriz e da zona de transição.

A sílica ativa possui diâmetro 100 vezes menor que o cimento e são bem arredondadas, sendo recomendado altos valores de adição na casa dos 25%, pois além de reagir quimicamente com o hidróxido de cálcio, tem função de preencher a zona de transição e entre os agregados (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Além disso, a sílica ativa reduz tanto a exsudação interna, quanto a exsudação na superfície da pasta e isso é de suma importância, pois transforma a microestrutura da zona de transição pasta agregado e pasta aço. A sílica ativa pode ser caracterizada sobre três fatores, sendo eles o grau de partículas agregadas, a natureza e a quantidade de impurezas e o tamanho das partículas. A adição de sílica ativa diminui a permeabilidade e aumenta a resistência de aderência com o agregado miúdo (BIZ, 2001).

- **Fibras:** as propriedades melhoradas no concreto vão depender do tipo, da quantidade e da dimensão da fibra, bem como das propriedades da matriz cimentícia e da interface fibra/matriz. A geometria da fibra está totalmente associada à aderência da mesma a matriz. O uso de fibras no concreto melhora a tenacidade e controla a fissuração do material (METHA; MONTEIRO, 2014).

Conforme Neville e Brooks (2013) as fibras podem ser de origem natural (asbesto, sisal, celulose) ou industrializadas (vidro, aço, carbono e polímeros). As fibras auxiliam no aumento da resistência à tração, pois retardam a propagação das fissuras, além de melhorarem a dissipação das tensões na zona fissurada, sendo as mais utilizadas.

As fibras de aço são adicionadas ao concreto para garantir ductilidade, resistência a tração e a flexão, o que permite retirar a armadura passiva. Suas dimensões limitadas em comprimentos de 13mm e espessura de 0,15mm (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

As fibras de polipropileno são consideradas quimicamente inertes, além de serem altamente compatíveis com o concreto, não absorvem água e não enferrujam, são facilmente encontradas e com um baixo custo, o que explica seu crescente uso nos últimos anos (RODRIGUES; MONTARDO, 2002). As fibras de polipropileno atuam no controle da fissuração do concreto quando em estado fresco e reforçam o concreto no estado endurecido, acrescenta Figueiredo (2011).

Conforme Serafim e Licetti (2012) as fibras, geralmente atuam como controladoras das aberturas das fissuras, já que são adicionadas à mistura com o objetivo de absorver as tensões e esforços de tração. Isso não significa que as fibras impedem a fissuração, o que realmente acontece é que as fissuras agora não estão

mais visíveis a olho nu, pois quando a fissura surge em seu estado microscópico a fibra começa a atuar e dissipar os esforços de tração. No entanto o excesso de fibras pode ser prejudicial à estrutura, pois pode gerar dificuldade no adensamento, com a ocorrência de pequenos vazios que por consequência reduzem a resistência à compressão do CPR. Portanto, a quantidade econômica e ideal de fibras gira ao entorno de 2%.

### 2.1.2 Propriedades mecânicas do CPR

No Brasil não existe uma normativa específica para os concretos de pós reativos. Porém, por se tratar de um concreto, o mesmo é submetido aos mesmos ensaios que os demais concretos.

- **Resistência à compressão:** Conforme Vanderlei e Giongo (2006) o CPR possui alta resistência à compressão já nas primeiras idades. Os autores ainda afirmam que a adição de fibras e a cura térmica possibilitam que o concreto atinja quase sua resistência máxima aos 7 dias.

A resistência à compressão, assim como nos concretos tradicionais, é a propriedade mais relevante. Para Vanderlei (2004) a densidade da mistura e a cura térmica são fatores que influenciam diretamente nessa propriedade mecânica. A primeira é obtida por uma boa granulometria, já que temos as classes granulométricas mais ajustadas, enquadradas dentro de determinadas faixas, e a segunda acelera os processos internos, aumentando as reações químicas de hidratação do concreto.

- **Resistencia à tração e ductilidade:** segundo Andrade (2015), apesar do CPR ter ótimos resultados para a resistência à compressão, a resistência à tração e a ductilidade estão totalmente relacionadas a adição de fibras. Vanderlei (2004) complementa dizendo que se adicionarmos um teor de 4% de fibras a mistura do CPR, obteremos o dobro de resistência à tração do mesmo traço sem a adição de fibras. A ductilidade também é melhorada com a adição de fibras e ela está relacionada ao comportamento a flexão.

- **Resistencia à flexão:** conforme Vanderlei e Giongo (2006) a resistência à flexão se relaciona diretamente ao teor de fibras adicionado na mistura. Os autores

realizaram ensaios variando o teor de fibra de aço adicionada ao concreto, e perceberam que a resistência à flexão começa a ter resultados significativos a partir de 2% em relação ao volume de material, e também, que fibras em excesso podem causar uma descontinuidade granulométrica no material e reduzir as resistências mecânicas.

- **Absorção de água:** de acordo com Serafim e Licetti (2012) o concreto de pós reativos é praticamente impermeável, acarretando em uma maior durabilidade dos materiais elaborados em CPR. Além disso, possui potencial de auto cura devido à quantidade de cimento anidro na mistura.

A baixíssima permeabilidade do CPR está relacionada a sua microestrutura, já que a mesma é mais densa que as dos concretos convencionais e dos de alto desempenho. Além disso, esse fator também lhe garante elevadas resistências e uma boa durabilidade (VANDERLEI, 2004).

### 2.1.3 Aplicações do Concreto de Pós Reativos

Conforme Biz (2001) essa tecnologia foi apresentada ao público através da passarela de Sherbrook, no Canadá. O projeto uniu técnicas de protensão e alta resistência à compressão do CPR, já que contava com uma estrutura leve e treliçada. Permitiu-se pré-fabricar elementos de 10 metros de comprimento e 3,5 metros de largura com uma espessura de tabuleiro que não ultrapassaram os 3 cm. Esses elementos foram submetidos a cura térmica a 90°C para atingir as propriedades previstas. As peças foram posicionadas provisoriamente em pilares até a aplicação da tensão de protensão. Essa técnica de protensão juntamente com o CPR venceram um vão de 56 metros, conforme mostra a Figura 1.



**Figura 1:** Passarela de Sherbrook



Fonte: Vanderlei (2004)

O projeto consistiu em não utilizar armadura passiva. As vigas superiores e inferiores foram reforçadas com fibras de aço e os ensaios de compressão dos corpos de prova obtiveram uma resistência de 200 MPa, enquanto que as diagonais foram executadas em tubos cilíndricos de aço com a espessura de 3 mm preenchidas com CPR e aplicada uma pressão de adensamento na moldagem, acarretando em uma resistência a compressão de 350 MPa (BIZ, 2001).

Inúmeras são as aplicações do CPR, já que possui como característica a elevada resistência à compressão e isso pode resultar na diminuição do peso da estrutura, diminuição da taxa de armadura com a eliminação da armadura passiva, permitindo a fabricação de pilares e vigas mais esbeltas. Quando associados a estruturas protendidas, como o caso de pontes e viadutos, pode-se aumentar a distância entre pilares e entre vigas e pode-se diminuir a espessura do tabuleiro. Como possui uma baixa relação água/cimento e utiliza percentuais altos de aditivos, torna-se auto-adensável, propiciando seu uso em estruturas curvas e com arquitetura diferenciada (SERAFIM; LICETTI, 2012).

De acordo com Andrade (2015) o CPR pode ser aplicado às mais diversas áreas da engenharia civil, como obras hidráulicas e de saneamento, e depósito de rejeitos radioativos, ou seja, para elementos que necessitem de elevada resistência, durabilidade e impermeabilidade. Ao aplicar esse sistema em tubos de redes de

esgotos, nos permite uma maior durabilidade, já que são mais estanques à água e mais resistentes a sulfatos.

## **2.2 Fachadas Pré-fabricadas Arquitetônicas de Concreto**

A pré-fabricação é a maneira mais efetiva de se industrializar a construção civil. Consiste em transferir processos realizados no canteiro de obra para os pátios de indústrias modernas, que possuem profissionais treinados. Os avanços tecnológicos permitem que as estruturas pré-moldadas sejam mais econômicas, duráveis e com melhor desempenho estrutural que uma moldada no local da obra (VAN ACKER, 2002).

Conforme Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) a técnica de pré-fabricar elementos cimentícios da construção, surgiu juntamente com a evolução das ferramentas e das máquinas. Atualmente com os avanços da automação dos processos de fabricação e de transporte, permite-se maior controle de qualidade dos elementos.

A evolução dos processos de fabricação, como processos de dosagem, métodos de posicionamento das peças, entre outros, permitiram melhorias de importância significativa na evolução da pré-fabricação do concreto, além do melhor controle de qualidade que se consegue ter em um chão fabril (HURTADO, 2010).

Um cenário cada vez mais competitivo, faz com que as empresas melhorem suas técnicas de produção e execução de edifícios. A pré-fabricação é uma alternativa já consolidada em estruturas de grande porte, como pilares e vigas, mas vem se desenvolvendo técnicas para a produção de outros elementos com o intuito de se aproveitar os ganhos de produtividade que essa técnica traz (TEMOCHE-ESQUÍVEL; ET AL, 2006).

De acordo com Iglesias (2006), os pré-fabricados de concreto podem ser uma alternativa industrializada para as mais variadas formas construtivas in loco, ou seja, pode-se substituir as paredes internas e externas, normalmente constituídas por materiais cerâmicos, por elementos pré-fabricados de concreto, que podem ser portantes ou de fechamento. O mesmo autor ainda comenta que as vantagens desse novo modelo de fechamento são inúmeras, como ganhos em velocidade de execução,

um acabamento liso, além de resistência ao fogo e um ótimo isolamento térmico e acústico.

A crescente busca por processos de fabricação inovadores e a necessidade de racionalizar os métodos de produção em obra é um desafio para a construção civil. Com esse intuito surge os Painéis Pré-fabricados Arquitetônicos de Concreto (PPAC), que buscam unir as vantagens do sistema de industrialização dos pré-fabricados com as variedades de formas que o concreto pode obter (OLIVEIRA; SABBATINI, 2004).

As fachadas em PPCA, são aplicáveis em qualquer obra, pois permitem variedade de cores, além do cinza do concreto. Além disso podem ser projetadas com funções estruturais ou somente como fechamento e acabamento (IGLESIAS, 2006).

Conforme Oliveira (2002) os PPAC são divididos em três elementos básicos, a ligação placa estrutura, a placa e a junta, que serão descritas a abaixo.

- **Ligações placa-estrutura:** As ligações de interação entre painel e estrutura são de suma importância. Segundo Oliveira (2002), os dispositivos de fixação garantem a segurança estrutural do painel, por isso devem ser projetados considerando seu desempenho, durabilidade e aspectos de construtibilidade, já que tem a função de transmitir os esforços aplicados na placa para a estrutura.

Os dispositivos de fixação devem ser metálicos, preferencialmente de aço inoxidável, pois possuem maior durabilidade e geralmente são fixados à placa mediante a concretagem da mesma. As fixações entre os dispositivos podem ser realizadas por parafusos ou soldas, sendo a primeira mais vantajosa, pois permite ganhos de instalação como ajustes de posicionamento (TEMOCHE ESQUÍVEL; ET AL, 2006).

Cada painel deve transmitir à estrutura somente o seu peso próprio, não recebendo o peso do painel superior, por isso um bom detalhamento da fixação é importante, além de garantir a transferência das cargas com o mínimo de excentricidade possível. Os painéis devem conter no mínimo quatro pontos de ancoragem que devem garantir a resistência às cargas perpendiculares de vento (FREITAS, 2002).

- **Juntas:** De acordo com Temoche-Esquivel et al. (2006), as juntas são formadas entre painéis e tem função de absorver as movimentações por dilatação térmica dos materiais, e devem proporcionar estanqueidade ao sistema.

As juntas dividem-se em dois tipos, as de primeiro estágio e as de segundo estágio. As primeiras possuem apenas um sistema de segurança a entrada de água, já que as placas formam uma junta reta, geralmente sendo fechada por algum tipo de selante em uma das faces. Nesse sistema qualquer falha no selante já permite que a água adentre na edificação. As juntas de segundo estágio, tem como principal característica criar uma barreira física através da geometria da peça, de forma que a peça superior esteja sobreposta à inferior produzindo uma junta em “L”, que também é fechada com algum tipo de selante, garantindo assim dois estágios de segurança à entrada de água (OLIVEIRA, 2002).

- **Painéis:** Para Temoche-Esquivel et al. (2006), os painéis em PPAC possuem uma aparência lisa e plana, sendo produzido em unidades com dimensões padronizadas, que facilitem o transporte e o posicionamento dos mesmos na fachada. Os autores falam ainda que esse sistema permite colocar os revestimentos nos painéis ainda na fábrica, sendo posicionado pronto.

A placa pode ser maciça, constituída somente por uma tipologia de concreto; as alveolares, que possuem partes ocas na seção transversal; sanduíches que são constituídas por duas placas cimentícias de menor espessura com o núcleo preenchido por algum material que tenha propriedades térmicas e acústicas melhoradas; e nervuradas que possuem reforços em uma ou duas direções (OLIVEIRA, 2002).

As classificações dos PPAC indicadas por Temoche-Esquivel et al. (2006) são realizadas pelo tipo de material constituinte: concreto armado, protendido, GRC (Glass Reinforced Cement), concreto leve ou denso; pela tipologia da seção transversal: maciços, alveolares, sanduíches e nervurados; e pelo acabamento das faces, sem acabamento, liso ou texturado. Os painéis em GRC vem ganhando cada vez mais espaço na construção de PPAC devido ao baixo peso que as placas possuem, pois são fabricadas com espessuras reduzidas.

## 2.3 Placas Pré-fabricadas em GRC (Glass Reinforced Cement)

Barth e Faccio (2003) afirmam que o sistema construtivo GRC surgiu na Inglaterra na década de 70, começando a ser fabricado no Brasil em 1999. Os autores afirmam que os painéis em GRC possuem um peso menor que os painéis fabricados em concreto armado, de no mínimo 15%. Essa redução acontece pelos materiais constituintes da composição das placas, os quais são basicamente cimento e areia e um tipo de fibras de vidro que são resistentes aos álcalis do cimento, ou seja, uma argamassa reforçada com fibras de vidro.

O GRC já é uma prática consolidada internacionalmente, já que se caracteriza como um material de fácil moldagem, que pode obter formatos variados, pois se trata de um material leve, gerando elementos mais esbeltos e resistentes. A combinação da argamassa com a fibra de vidro garante ao sistema boa resistência à compressão e boa resistência à tração (VICENZI, 2015).

Segundo Metha e Monteiro (2014) quando adicionado fibras de qualquer origem ao concreto, se está buscando uma melhor tenacidade e resistência à fissuração, à fadiga, ao impacto, entre outras propriedades.

### 2.3.1 Dosagem do GRC

De acordo com Guimarães (2016) o GRC é composto por cimento, areia, fibra de vidro e água, podendo ou não ser empregado o uso de aditivos. O método de fabricação das placas reforçadas com fibras de vidro pode ser dividido em duas técnicas, sendo elas o *prémix* que é uma pré mistura dos materiais e o *spray up* que consiste em projetar a mistura com auxílio de ar comprimido, influenciando assim, diretamente no processo de dosagem.

- **Spray up:** é um método de fácil execução que permite alcançar o dobro de resistência em comparação com a pré mistura. Esse método consiste em projetar a mistura contra um molde através de uma pistola dotada de duas unidades de projeção, pois a argamassa e a fibra são projetadas separadamente (DUARTE, 2014).

Conforme Vicenzi (2015) esse método possui uma relação água/cimento baixa, entre 0,30 e 0,35, sendo necessário o uso de aditivos para manter a consistência da argamassa. Como a projeção dos materiais é feita separadamente, o teor de fibras a ser incorporado ao elemento, é de aproximadamente 5% da mistura.

No método de *spray up*, a argamassa é projetada em várias camadas de pequena espessura até atingir a espessura desejada do painel. Cada camada é compactada manualmente com um rolo metálico, a fim de evitar que as camadas fiquem delimitadas, já que a pressão de impacto da projeção não é a ideal, pois ainda se encontra pequenos espaços com ar incorporado (SILVA, 1998).

- **Prémix:** consiste na mistura prévia da argamassa no misturador sendo que as fibras são incorporadas posteriormente (VICENZI, 2015).

O processo de pré mistura, resulta em teores menores de fibras aplicadas à mistura e uma distribuição desuniforme das mesmas, quando comparado com o método anterior (DUARTE, 2014).

Segundo Silva (1998) na pré mistura é complicado de se obter uma boa distribuição das fibras, já que a presença de areia dificulta a mobilidade da mistura. Por isso pensa-se em aumentar o teor de água na mistura, porém surgem outros problemas, como a exsudação da mistura, pois as fibras criam caminhos para que a água saia para a superfície.

Nesse caso da pré mistura o uso de aditivos é imprescindível, pois melhoram a trabalhabilidade sem alterar a relação água/cimento, permitindo a dispersão das fibras, melhorando a distribuição das mesmas e garantindo a homogeneidade da mistura (SILVA, 1998).

### 2.3.2 Materiais

Os materiais empregados para a produção de GRC serão descritos a seguir.

- **Cimento Portland:** para Guimarães (2016), nos elementos fabricados pelo método GRC é recomendável o uso do cimento Portland CP V ARI, pois possui alta

resistência inicial, permitindo que as peças sejam deformadas mais rápido. Se não houver a necessidade de uma alta resistência inicial, pode-se usar qualquer outro cimento que atinja as resistências de projeto.

Duarte (2014) realça que as condições de armazenamento do cimento para a fabricação de placas GRC devem ser atendidas a fim de garantir a qualidade do mesmo. Além disso, quando a coloração final da placa for a do cimento ou de cimento branco, deve-se cuidar para utilizar os materiais de mesma empresa, lote e tipo, além dos cuidados na fabricação, armazenamento e transporte das placas, principalmente as de acabamento branco ou de cores claras.

- **Areia:** conforme Duarte (2014) toda a areia deve ser lavada e seca, a forma das partículas deve ser irregular com textura superficial lisa e com elevado teor de sílica. As dimensões máximas das partículas vão depender do tipo de fabricação em que os painéis estarão submetidos, ou seja, se o processo for *spray up* o tamanho máximo é de 1,2 mm, já se for *prémix* é de 2,4 mm.

O uso de areias de outra origem como as de mármore ou granito, não estão descartadas, desde que o fabricante garanta a qualidade das mesmas (GUIMARÃES, 2016).

- **Aditivos:** Qualquer produto adicionado ao concreto que melhore as suas propriedades e que seja diferente das propiciadas pelas adições são denominados aditivos (GUIMARÃES, 2016).

De acordo com Duarte (2014), os aditivos podem melhorar as condições de fabricação e as propriedades do concreto. Na fabricação busca-se melhorar a trabalhabilidade, melhorar a coesão e reduzir a segregação. Já em relação as propriedades, pode-se aumentar a resistência mecânica, diminuir a permeabilidade e aumentar a resistência ao fogo.

- **Fibra de vidro:** Conforme Duarte (2014) a fibra de vidro utilizada nos compósitos GRC é a do tipo AR (Alkali Resistant), pois, como sugere o nome, é resistente aos álcalis do cimento, além de ter uma alta resistência mecânica, elevado modulo de elasticidade, resistência à corrosão, incombustibilidade, manutenção das características a altas temperaturas e facilidade de manuseio.

As fibras de vidro AR são produzidas a partir de zircônio, altamente durável em compósitos cimentícios. Suas dimensões variam de acordo com o método empregado para a fabricação das placas, sendo de 30 a 35 mm para o método de *spray up* e de no máximo 12 mm para o *prémix* (GUIMARÃES, 2016).

Segundo Vicenzi (2015) as fibras atuam nas fissuras recebendo e distribuindo os esforços entre si. Uma vez que o concreto começa a fissurar, as fibras começam a ser tracionadas e distribuir os esforços pelo elemento.

### 2.3.3 Tipo de painéis em GRC

Segundo Guimarães (2016), os painéis em GRC se destacam por ser leve e suportar seu peso próprio e resistir as cargas de vento. Por serem de espessura reduzida, têm baixo peso e por isso são considerados leves quando comparados com as placas de concreto armado. Podem possuir coloração, revestimento cerâmico, ou ser da cor do concreto, dependendo da escolha do projetista.

- **Painel Tipo Casca:** são painéis planos que podem ser nervurados ou não. Se possuírem dimensões pequenas com uma área menor que 7 m<sup>2</sup>, não se faz necessário o uso de nervuras. Para áreas maiores que 7 m<sup>2</sup>, é recomendado o uso de nervuras, pois as mesmas garantem uma maior estabilidade estrutural da peça, mas a inserção das mesmas traz limitações aos formatos que a peça pode ter (VICENZI, 2015).

Para Guimarães (2016), o formato tipo casca resulta em espessuras finas máximas de 12 mm. Os mesmos são de difícil instalação, pelo fato de terem tal espessura, assim são inseridos no seu interior perfis metálicos para serem parafusados posteriormente. O material metálico que será utilizado deve ser levado em consideração, pois os mesmos absorvem umidade podendo causar manchas na placa.

- **Painel Tipo Stud Frame:** possui uma estrutura metálica no tardo, possibilitando o aumento nas dimensões das placas e a liberdade de geometria (DUARTE, 2014).



De acordo com Vicenzi (2015) os painéis tipo *stud frame* são utilizados em grande escala nos Estados Unidos, pois o acesso ao aço é facilitado devido à alta produção do mesmo no país. A forma de fixação do painel à estrutura se dá pelo reforço do aço no tardo da placa.

- **Painel Tipo Sanduíche:** painel formado por duas placas GRC preenchidas por algum elemento termo acústico, sendo uma das faces posicionada para o lado externo e a outra para o lado interno (GUIMARÃES, 2016).

#### 2.3.4 Propriedades Mecânicas dos Painéis GRC

A normativa NBR 15305 (ABNT, 2005) indica os parâmetros de qualidade que os pré-fabricados em GRC devem possuir. Ela determina que os materiais utilizados para o compósito devem atender às qualidades mínimas apresentadas nas normas específicas de cada material e que o fabricante de GRC guarde uma amostra de cada material por um determinado período. A seguir será discutido sobre as propriedades mais relevantes do compósito.

- **Resistência à Tração e Flexão:** a resistência à flexão é o parâmetro mecânico mais importante no GRC, tanto que é adicionado sua resistência junto ao nome do produto, como por exemplo uma placa GRC denominada GRC18 quer dizer que esta placa possui 18 MPa de resistência à flexão (GUIMARÃES, 2016).

De acordo com Duarte (2014) as resistências à tração e flexão, são comandadas pelas fibras incorporadas na mistura, por isso os métodos de fabricação das peças interferem diretamente na resistência da mesma.

Os parâmetros analisados nos ensaios de tração direta e/ou flexão são os limites elásticos, ou seja, o final do trecho elástico do compósito e as resistências máximas de ruptura. As propriedades elásticas dependem mais da matriz cimentícia, enquanto que as propriedades plásticas estão relacionadas às características da fibra (LAMEIRAS, 2007).

- **Resistência à compressão:** a resistência à compressão é determinada pela matriz cimentícia do compósito, não sendo afetada pela adição das fibras (DUARTE, 2014).

Segundo Guimarães (2016), os painéis GRC possuem espessura muito pequena e não atuam sobre compressão, conseqüentemente não devemos defini-lo por esse método.

- **Resistência ao impacto:** as fibras incorporadas ao sistema, fazem com que essa propriedade seja melhorada, portanto o teor e o comprimento da mesma influenciam nessa característica (DUARTE, 2014).

O GRC possui elevada resistência ao impacto, pois possui características de um concreto convencional. O acréscimo de fibras faz com que se obtenha uma melhora nessa propriedade, já que as fibras atuam no controle de fissuração do material (GUIMARÃES, 2016).

- **Absorção de água e Permeabilidade:** a porosidade e a absorção de água nos GRC são maiores que a do concreto convencional, resultado direto do alto consumo de cimento (GUIMARÃES, 2016).

### 2.3.5 Vantagens e Desvantagens do Sistema GRC

De acordo com Vicenzi (2015) o revestimento com sistema GRC permite a passagem de tubulações e revestimento termo acústico entre as placas (painel sanduiche) ou entre as placas e o sistema de fechamento vertical, além de possuírem espessuras pequenas e, conseqüentemente menor massa que resulta em menor carga à estrutura do edifício.

As vantagens do sistema GRC são a possibilidade de formatos que se pode obter, maior produtividade para a obra, controle de qualidade mais eficaz, liberação de espaço no canteiro, pode se obter cores variadas, entre outras (DUARTE, 2014).

Segundo Silva e John (1998), as placas de GRC fissuram devido ao alto teor de cimento da mistura, no entanto as fissuras são imperceptíveis a média distância

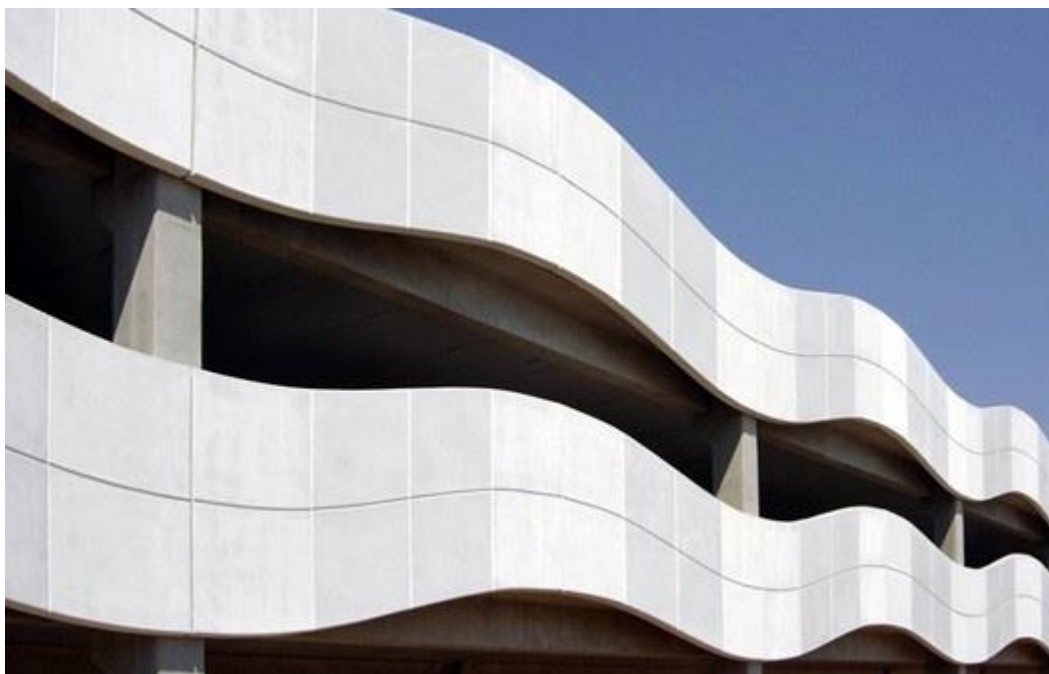
não causam riscos de queda e não afetam a durabilidade, mas essas microfissuras absorvem água e criam um local propício para o desenvolvimento de microrganismos que ao longo do tempo, vão pigmentando a fachada causando efeitos estéticos desagradáveis. Os autores ainda citam que uma alternativa para isso seria produzir placas de menor dimensão.

### 2.3.6 Aplicações do sistema GRC

As aplicações que o GRC pode ter são as mais diversas, mas a mais utilizada é a de revestimento de fachadas (FIGURAS 2 e 3). É um sistema muito consolidado nos Estados Unidos (LAMEIRAS, 2007).

De acordo com Vefago e Barth (2006), as fachadas do edifício garagem da ULBRA-CANOAS (FIGURA 2), foram fabricadas com painéis do tipo casca e produzidos para atender o efeito estético do tipo onda da fachada.

**Figura 2:** Fachada do edifício garagem na ULBRA-CANOAS



Fonte: Vefago e Barth (2006)

Na fachada do ginásio de esportes foram usados painéis do tipo stud frame (FIGURA 3), revestidos com plaquetas cerâmicas aplicadas no chão fabril, o que permite maior velocidade de execução (VEFAGO; BARTH, 2006)

**Figura 3:** Fachada do ginásio de esportes da ULBRA-CANOAS



Fonte: Vefago e Barth (2006)

Neste capítulo viu-se as características e aplicações do CPR e do GRC, bem como os materiais necessários para suas respectivas fabricações. Sendo assim pensou-se em elaborar placas para revestimentos de fachadas fabricadas com CPR utilizando-se dos métodos de fabricação, dimensionamento e normativas do sistema GRC. No próximo capítulo serão descritos os materiais, bem como os métodos utilizados para a elaboração das placas cimentícias.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como base o estudo em placas GRC, notou-se que a alta probabilidade de fissuração, juntamente com alta retração do material, são fatores apontados como as principais desvantagens do sistema, pois podem causar manchamentos e sujidades nas placas devido ao aparecimento de microrganismos nas fissuras. Sabendo que o CPR possui como características uma baixa permeabilidade e uma ótima resistência à flexão, quando adicionado fibras, pensou-se em elaborar placas de CPR pelo método de fabricação prémix do sistema construtivo GRC.

Até então, os estudos realizados sobre CPR visam analisar suas características mecânicas, testando seu comportamento através da variação dos teores dos seus componentes. Portanto não há trabalhos similares que possam ser utilizados como comparativo, pois nesse estudo serão moldadas placas para revestimento de fachadas pelo método de fabricação do sistema GRC, e os estudos já realizados utilizam o CPR como substituinte do Concreto de Alto Desempenho. Porém, para verificar a qualidade desta placa serão levados em consideração resultados já obtidos pelo sistema GRC, além das normativas técnicas deste mesmo sistema, com o intuito de orientar a pesquisa quanto ao desempenho mínimo requerido de determinadas propriedades para o uso das placas em fachadas.

No Brasil a NBR 15305 (ABNT, 2005) regulamenta os processos produtivos de pré-fabricados em GRC, além de indicar os ensaios que as placas deverão ser submetidas. A NBR 15306 (ABNT, 2005), que está dividida em 7 partes, rege os testes para o concreto reforçado com fibras de vidro, sendo eles no estado fresco e endurecido. Essas normativas são baseadas no *Glassfibre Reinforced Concrete*

*Association* (GRCA International) que é a associação dos fabricantes de produtos em GRC.

Para concretos do tipo CPR não existem normativas brasileiras que regulamentem a fabricação de qualquer elemento produzido com esse material. Assim, pensou-se em fabricar painéis em CPR pelo método prémix do GRC e analisá-los conforme os métodos de ensaio aplicados para as placas produzidas em GRC, afim de verificar se os parâmetros mecânicos satisfazem as exigências mínimas do sistema.

As placas foram elaboradas a partir do traço que foi extraído de Andrade (2015), e adaptado para o uso de materiais disponíveis na região de estudo, conforme expresso no Quadro 2.

Com o intuito de verificar a influência das fibras de polipropileno nesse novo material, decidiu-se variar os teores adicionados à mistura, adotando assim teores de 0%, 2% e 4% em relação a massa do aglomerante, indicados no Quadro 2. As variações nos teores de fibras foram definidas pelo autor, tendo como base os estudos, relatados nessa pesquisa, sobre as propriedades mecânicas do CPR, onde notou-se que as fibras melhoram a resistência à flexão que é o parâmetro utilizado para dimensionar a placa, porém o excesso das mesmas pode causar dificuldades de homogeneização do compósito.

Quadro 2: Traço unitário, em massa, utilizado para a elaboração do estudo

Material	Cimento	Areia fina	Sílica ativa	Aditivo	Pó de Quartzo	Água	Fibras
Traço unitário em massa	1,00	1,70	0,25	0,05	0,60	0,35	0%, 2% e 4% *

As informações com \* indicam as variações de quantidade que o material sofrerá para um mesmo traço

Fonte: Adaptado de Andrade (2015, p. 60)

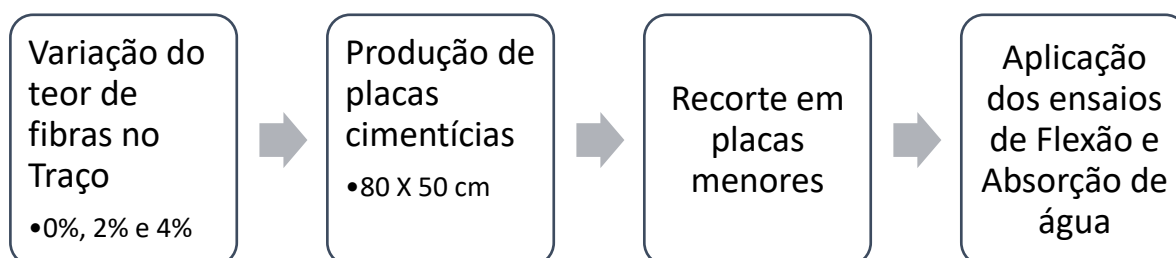
A NBR 15305 (ABNT, 2005) indica a realização do ensaio de flexão que é normatizado pela NBR 15306-5 (ABNT, 2005), e absorção de água que é normatizado

pela NBR 15306-6 (ABNT, 2005), sendo ambos executados no estado endurecido. Os testes consistem em fabricar placas de 80 cm X 50 cm, com a espessura final em que a placa será produzida e aplicada na fachada. Portanto, para cada teor de fibra, necessita-se uma placa para o teste de absorção de água e duas placas para o teste de flexão, pois para este ensaio são analisados os resultados aos 7 e aos 28 dias. Deste modo se faz necessário confeccionar um total de 9 placas, sendo 6 para o ensaio de flexão e 3 para o de absorção de água.

A espessura da placa foi definida considerando a fabricação da forma, pois a máquina que foi utilizada para o corte das peças que constituiriam a forma, possuía um corte mínimo de 15mm, logo, para tamanhos menores, seria necessário realizar o corte de forma manual, por esse motivo adotou-se 15 mm.

Com a definição do traço de composição das placas cimentícias, juntamente com a delimitação dos ensaios que as mesmas serão submetidas, buscou-se elaborar um fluxograma do programa experimental com o intuito de melhorar o entendimento da metodologia. O mesmo está ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma do programa experimental



Fonte: Autor (2018)

### 3.1 Materiais

Para a composição do traço de dosagem serão utilizados os seguintes materiais:

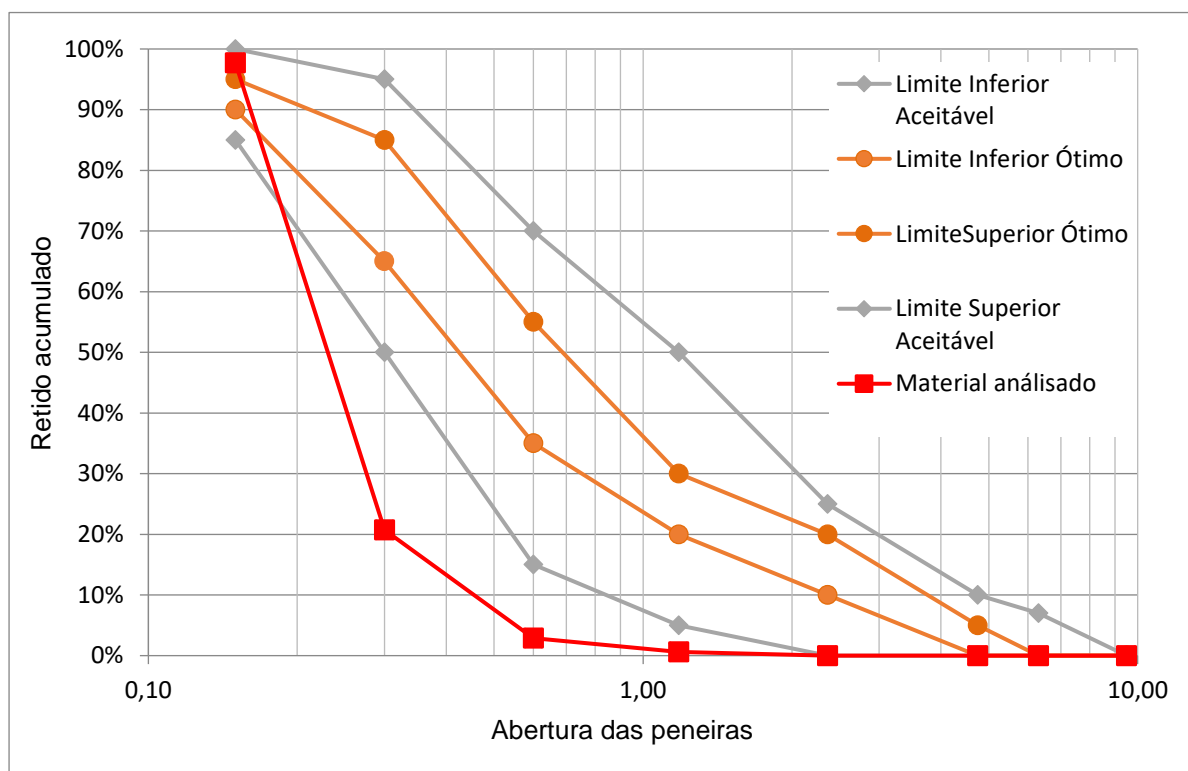
- **Cimento Portland:** o aglomerante utilizado foi o CP V ARI - RS, sendo disponibilizado pelo Laboratório da Tecnologia da Construção (LATEC) da Univates. O mesmo foi submetido ao ensaio de massa específica regulamentado pela NBR 16605 (ABNT, 2017), obtendo um resultado de 2844Kg/m<sup>3</sup>.

- **Sílica ativa:** a adição pozolânica utilizada foi disponibilizada pelo LATEC (Laboratório da Tecnologia da Construção) da Univates. A mesma foi submetida ao ensaio de massa específica normatizado pela NBR 16605 (ABNT, 2017), alcançando o resultado de 2200 Kg/m<sup>3</sup>.

- **Agregado miúdo:** a areia utilizada foi a comercializada como de granulometria fina e disponibilizada pelo LATEC da Univates, sendo submetida aos ensaios de granulometria e massa específica normatizados pela NBR NM 248 (ABNT, 2001) e NBR NM 52 (ABNT, 2002), respectivamente.

Como resultado para o ensaio de massa específica obteve-se 2614 Kg/m<sup>3</sup>. Já para o ensaio de granulometria determinou-se o módulo de finura, 1,21, e o diâmetro máximo do agregado 1,18 mm. Contudo, a granulometria da areia fina ficou fora dos limites aceitáveis, o que era esperado, pois a areia fina possui uma grande parte de seus grãos passantes em peneiras de pequena abertura. Neste caso a maior parte dos grãos passantes se concentraram nas peneiras de abertura 0,3 mm e 0,15mm. O Gráfico 1 ilustra o gráfico da granulometria do agregado.

Gráfico 1: Granulometria



Fonte: Autor (2018)



- **Pó de Quartzo:** o pó de quartzo é comercializado pelo número da peneira que o mesmo possui maior percentual passante, ou seja, ao adquirir um pó de quartzo #200, significa dizer que a maior parte das partículas é passante na peneira de número 200.

Para o referido trabalho foi adquirido o pó de quartzo #200, pois é o que melhor se encaixa na granulometria do concreto estimada. O material foi submetido ao ensaio de massa específica normatizado pela NBR 16605 (ABNT, 2017), mesmo método que foram ensaiados o cimento Portland e a sílica ativa, obtendo como resultado 2720 Kg/m<sup>3</sup>.

- **Aditivos:** o aditivo utilizado é do tipo superplastificante a base de policarboxilatos de terceira geração, pois o mesmo auxilia na trabalhabilidade do concreto principalmente em baixa relação água/cimento.

- **Fibras:** as fibras utilizadas nesse trabalho foram as de polipropileno que possuíam um comprimento de 23 mm e um diâmetro de 0,8 mm. Optou-se por esse tipo de fibra, pois as placas a serem elaboradas possuem espessura reduzida, onde existe a probabilidade de ocorrer fissurações. Neste caso, as fibras mais indicadas são as metálicas, porém acredita-se que com o passar do tempo, as variações de umidade possam agredir as mesmas, formando pites de oxidações que poderiam causar manchamentos nas faces das placas, originando um defeito estético.

### 3.2 Métodos

Após a caracterização dos materiais, definiu-se o método de moldagem das placas, considerando o volume de material necessário para a elaboração das 9 placas, sendo que o volume total necessário para o preenchimento das placas era de 54 litros.

Inicialmente, pensou-se em dividir o processo de moldagem das placas em grupos conforme os teores de fibras, ou seja, uma moldagem para as placas com 0%, uma para as placas com 2% e uma para as placas 4%, fracionando assim, a mistura em 3. Porém, não havia misturador com capacidade, do volume, para realizar esse parcelamento.

A capacidade volumétrica dos misturadores disponibilizados pelo laboratório, influenciou diretamente na decisão do processo de moldagem, já que, a argamassadeira possui capacidade de volume muito abaixo do necessário, enquanto que a betoneira possui capacidade excessiva para o volume de cada grupo de moldagem, o que poderia acarretar em uma mistura não homogênea. Desta forma, não havia como separar as moldagens por grupo, pois a argamassadeira não teria capacidade volumétrica para misturar os materiais para uma placa, enquanto que na betoneira existia a possibilidade dos materiais não se misturarem uniformemente devido ao baixo volume dos materiais.

Considerando estes fatores, decidiu-se fazer uma única moldagem, na betoneira, onde seria adicionado o volume de materiais necessários para a elaboração das 9 placas. A dificuldade encontrada era de como realizar a adição das fibras de forma coerente com as definidas neste estudo, já que as mesmas variavam.

Desta forma, decidiu-se realizar a mistura dos materiais para o preenchimento das 9 placas, retirando a quantidade necessária para a moldagem das três placas de 0% de fibra. Com a retirada deste volume, se calculava a quantidade de material restante na betoneira e se adicionava a quantidade de fibra para alcançar o teor de 2% de fibra, sendo os teores de fibras adicionados conforme o aumento do teor de fibra a ser moldado. Assim, moldava-se as placas sem fibra, então adicionava-se a quantidade necessária de fibras em relação ao volume de material restante na betoneira para alcançar o teor de 2%, moldando as placas desse teor e por fim adicionava-se mais fibras no restante de volume que sobrou na betoneira de modo a atingir o teor de 4% de fibras

Desta maneira, iniciou-se o processo de mistura com a separação de todos materiais em suas devidas quantidades, conforme ilustra a Figura 5. O processo de mistura consistiu em adicionar os materiais pouco a pouco, visto que se tratava de um concreto com baixa relação água/cimento e com alto teor de finos, de modo a evitar que a mistura ficasse com aparência extremamente seca, popularmente denominada farofa, que poderia ocasionar uma mistura não homogênea e, conseqüentemente, inadequada para o uso.

Figura 5: Materiais devidamente separados



Fonte: Autor (2018)

Após a homogeneização da mistura, realizou-se o ensaio de consistência e posteriormente a moldagem das 3 placas com 0% de fibras que foram adensadas pela mesa vibratória. Em seguida, adicionou-se 2% de fibra de polipropileno sobre o volume restante no misturador. Deixou-se misturar e moldou-se as 3 placas, seguindo os processos anteriores. Para as últimas placas, repetiu-se os passos da anterior, onde foram adicionados mais 2% de fibras de polipropileno sobre o volume restante. Após o acréscimo das fibras, deixou-se misturar até a completa homogeneização e em seguida moldou-se as últimas 3 placas, agora com teor de 4% de fibra, seguindo os passos das anteriores.

Com todas as placas moldadas, iniciou-se os processos de cura, onde as mesmas permaneceram por 24 horas em cura ambiente. Decorrido este tempo, as placas foram submetidas a desforma e ao recorte dos testemunhos para cada ensaio. Após o recorte as placas, as que foram recortadas para se obter a absorção de água, foram submergidas em um recipiente com água, seguindo as recomendações da NBR 15306-6 (ABNT, 2005), conforme ilustra a Figura 6. Enquanto que os testemunhos do ensaio de flexão permaneceram em cura ambiente até a data de ruptura, aos 7 e 28 dias de idade, seguindo as recomendações da NBR 15306-5 (ABNT, 2005).

Figura 6: recorte dos testemunhos para o ensaio de absorção de água



Fonte: Autor (2018)

### 3.2.1 Verificação das propriedades no estado fresco

Como citado anteriormente, não há uma normativa brasileira que regule os produtos fabricados em CPR, portanto serão tomadas como base as normativas que regulamentam a produção dos pré-fabricados em GRC, já que os métodos produtivos também se basearam nesse sistema.

A norma NBR 15305 (ABNT, 2005) indica a utilização da norma NBR 15306-1 (ABNT, 2005) para determinar as propriedades do concreto no estado fresco, através do ensaio de consistência da matriz cimentícia.

Os materiais base para a realização do ensaio são uma placa plana de 300 mm x 300 mm com nove círculos concêntricos e um cilíndrico metálico ou plástico com 55 mm de altura, diâmetro interno de 57 mm e externo de 65 mm. O círculo inicial possui 65 mm de diâmetro sendo acrescido em 20 mm de diâmetro para o próximo círculo, até chegarmos ao número 9 com 225 mm de diâmetro. Na falta de uma placa gravada com os 9 círculos pode-se anotar as duas medidas ortogonais da placa.

O ensaio consiste em encher o tubo cilíndrico, posicionado sobre a placa metálica, com a argamassa pronta, esperar 30 segundos, retirar o cilindro e anotar o círculo em que a argamassa atingiu, se necessário arredondar para o mais próximo.

O ensaio de consistência seguiu a normativa NBR 15306-1 (ABNT, 2005) obtendo um espalhamento de 32 cm de diâmetro, considerado bom e ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Ensaio de consistência



$D = 32 \text{ cm}$

Fonte: Autor (2018)

### 3.2.2 Verificação das propriedades no estado endurecido

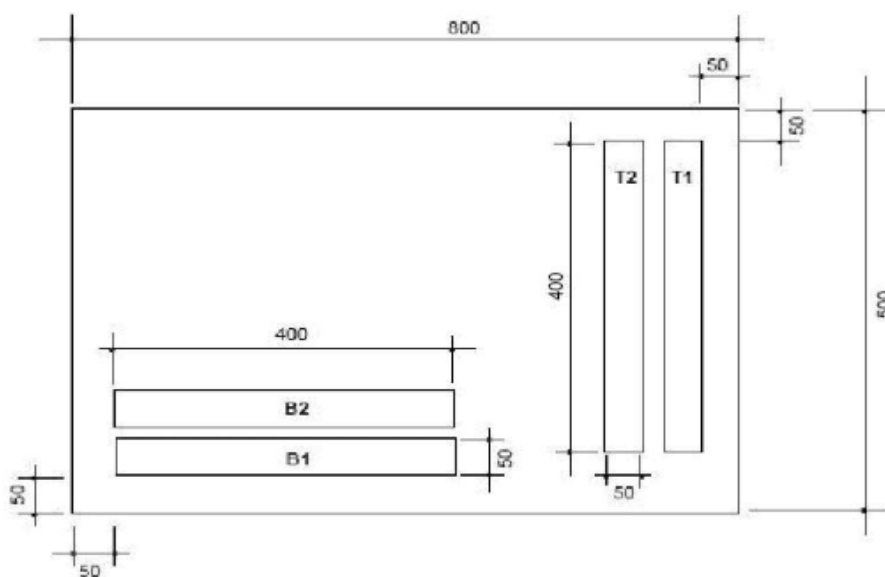
A NBR 15305 (ABNT, 2005) caracteriza os ensaios e a periodicidade dos mesmos no estado endurecido para a fabricação de placas GRC. Verifica-se que cada ensaio está regulamentado por uma normativa, por exemplo, a normativa NBR 15306-5 (ABNT, 2005) indica os procedimentos para a obtenção da resistência à flexão pelo ensaio de flexão das 4 pontas. Nota-se também que a periodicidade para realizar este ensaio é de, no mínimo, duas semanas.

#### 3.2.2.1 Absorção de água

O ensaio de absorção de água é regulamentado pela NBR 15306-6 (ABNT, 2005) e consiste em moldar uma placa de 800 mm x 500 mm com a espessura que material terá quando for para a obra, e armazená-la nas mesmas condições de produção por 6 dias. Deve-se medir as dimensões dos corpos de prova com precisão

de 1 milímetro e calcular seu volume em  $\text{cm}^3$ , e depois devem ser posicionados dentro de recipiente com água de forma a tapar os mesmos por 24 horas com temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . No próximo dia, retirar as amostras do recipiente, secar os excessos de água com um pano seco e pesa-las, e após encaminha-las para a estufa a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas, decorrido esse tempo pesar a amostra seca. A Figura 8 ilustra a forma que foram realizados os recortes na placa

Figura 8: Obtenção das placas para o ensaio de absorção de água



Fonte: NBR 15306-6 (ABNT, 2005)

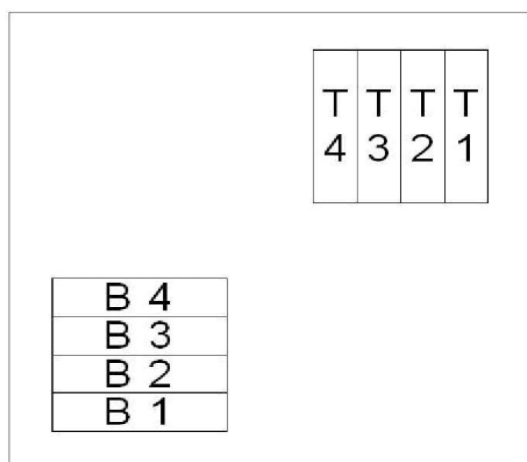
A normativa deste ensaio não indica quais são os parâmetros de aceitação. Porém, sabemos que uma alta absorção de água resulta em uma menor durabilidade da placa, isto devido aos elementos químicos que são carregados pelas chuvas. O GRCA (2015) considera como ótimo valores de absorção de água inferiores a 13%, sendo que o menor valor já encontrado foi de 8%.

### 3.2.2.2 Ensaio completo de flexão

O ensaio completo de flexão é normatizado pela NBR 15306-5 (ABNT, 2005) e consiste em moldar duas placas de 800 mm x 500 mm com a espessura final e sem revestimento e mantê-los em cura nas condições de fabricação até os seis dias. Após

a desmoldagem corta-se na placa 8 feixes, 4 no sentido horizontal e 4 no sentido vertical, distantes 50 mm das extremidades e com largura de 50 mm e comprimento em função da espessura. Aos seis dias de idade os corpos de prova de uma das placas devem ser submergidos em um recipiente cheio de água a temperatura de  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  por 24 horas, até atingirem 7 dias. Já os corpos de prova da segunda placa, aos 6 dias, devem ser levados a câmara úmida onde permaneceram durante 21 dias. Ao 27º dia os corpos de prova devem ser submergidos em um recipiente com água permanecendo ali por 24 horas. Em ambos os casos os corpos de prova devem ser ensaiados em no máximo 30 minutos após saírem do recipiente com água, e deve-se retirar o excesso de água ao redor do corpo de prova com um pano seco. A figura 9 retrata a forma com que foram realizados os recortes na placa, enquanto que o Quadro 3 traz o comprimento que os mesmos devem ter, levando em consideração a espessura da placa.

Figura 9: Obtenção das placas para o ensaio de flexão



Fonte: NBR 15306-5 (ABNT, 2005)

Quadro 3: Comprimento do recorte em função da espessura

Espessura nominal em mm	$\leq 6,7$	6,8 a 10	10,1 a 12,5	$\geq 12,6$
Comprimento/ tolerancia 25 mm	160	225	275	325

Fonte: NBR 15306-5 (ABNT, 2005)

Os parâmetros de aceitação para este ensaio, são definidos pelo projetista, igualmente como acontece com o concreto, onde define-se a resistência à compressão que se deseja para uma determinada aplicação, e a partir daí desenvolve-se o traço para alcançar a resistência esperada. Então, como trata-se de placas para revestimento de fachadas, o principal parâmetro que influencia na resistência mecânica da placa é a carga de vento que gera esforço de flexão na peça. Portanto, a altura em que a mesma está posicionada influencia no esforço gerado, ou seja, uma peça que está localizada no primeiro andar, estará submetida a cargas menores que uma placa localizada no décimo, por esse motivo que uma placa pode ser aceita no primeiro piso e rejeitada para décimo.

Para definir a resistência à flexão que a placa deve suportar o GRCA (2015) indica uma metodologia de cálculo, que é desenvolvida através do estado limite último (ELU) juntamente com as tensões térmicas e as de retração, com o intuito de evitar o colapso da placa. A Equação 1 apresenta o coeficiente de majoração de cargas aplicadas para o estado limite último.

$$Q_d = Q * \gamma_f \quad (1)$$

Onde,

$Q$  é a força de vento aplicada na placa e o  $\gamma_f$  é definido pela Equação 2.

$$\gamma_f = \gamma'_f * \gamma_{tv} * \gamma_b * \gamma_c \quad (2)$$

Os valores dos coeficientes citados acima são extraídos de quadros do manual de cálculo do GRCA (2015), onde o  $\gamma'_f$  é estabelecido pela combinação de cargas permanentes e de vento, juntamente com a água da chuva e a poeira e pelo tipo de carga, conforme mostra o Quadro 4.



Quadro 4: Combinações de carga e tipos de carga

Combinações de carga	Tipo de Carga					
	Carga Permanente		Carga Acidental		Terra e pressão d'água	Vento
	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável		
CP + CA (Terra e pressão d'água)	1,4	1,4	1,6	0	1,4	-
CP + Vento (Terra e pressão d'água)	1,4	1,0	-	-	1,4	1,4
CP + CA + Vento (Terra e pressão d'água)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Fonte: Adaptado de GRCA (2015)

Os valores de  $\gamma_{tv}$  se encontram no Quadro 5, estes fatores consideram as variações de espessura que a placa pode ter pelo processo de fabricação.

Quadro 5: Variações de espessura pelo processo de fabricação

Processo de Fabricação	Painel <i>Skin</i>		Painel Sandwich	
	<i>Plain</i>	Moldado	<i>Plain</i>	Moldado
<i>Hand Spray</i> (10 mm de espessura mínima)	1,05	1,10	1,10	1,20
<i>Machine spray</i> (6 mm de espessura mínima)	1,05	1,05	1,05	1,10

Fonte: Adaptado de GRCA (2015)

O Quadro 6 apresenta os valores de  $\gamma_b$  que é um fator que considera as variações de resistências à flexão em função da espessura. Para os painéis do tipo sanduíche que forem fabricados em seção aberta, ou fabricados com seção em forma de caixa, deve-se adotar valores para  $\gamma_b$  igual a 1,5 independente da espessura.

Quadro 6: Valores de  $\gamma_b$ 

Espessura total em mm							
<i>Single Skin</i>				<i>Sandwich Constrution</i>			
6 a 10	12 a 16	20	40	60	100	200	300
1,00	1,05	1,08	1,15	1,20	1,50	1,37	1,50

Fonte: Adaptado de GRCA (2015)

O fator  $\gamma_c$  considera o colapso e os efeitos desta falha, portanto para esse coeficiente o GRCA (2015) aceita adotar valores que variam entre 1,0 e 1,5 dependendo da aplicação. Normalmente é empregado o valor de 1,0.

Como mencionado anteriormente, a resistência de cálculo ( $F_d$ ) é a soma das tensões à flexão, de retração e térmica multiplicadas por um coeficiente de segurança, assim tem-se a Equação 3.

$$F_d = \sigma_d * \gamma_m \quad (3)$$

Onde,  $\sigma_d$  é a soma das tensões de flexão, de retração e térmica, enquanto que o  $\gamma_m$  é o fator de segurança que está expresso no Quadro 7.

Quadro 7: Fator de segurança

Dosagem	Exposição (longa duração)		Transporte 28 a 90 dias (curta duração)
	Externo	Interno	
GRC padrão	3,0 a 3,5	2,5 a 3,0	1,7 a 2,2

Fonte: Adaptado de GRCA (2015)

As tensões térmicas e de retração, são fatores que influenciam no desempenho da placa. Conforme o GRCA as tensões por retração secas são as que mais geram tensões na placa. Os quadros 8 e 9 trazem essas variações de tensões.

Quadro 8: Tensões por retração em N/mm<sup>2</sup>

Restrição completa	Curta Duração	Longa Duração
Interna	1,3 a 1,8	0,7 a 0,9
Externa	1,0 a 1,5	0,5 a 0,8

Fonte: Adaptado de GRCA (2015)

Quadro 9: Tensões térmicas em N/mm<sup>2</sup>

Condição	Face Tenncionada	Gradiente de Temperatura (deg C)	Σst
Inverno	Úmido	5	0,4 a 0,8
		10	0,9 a 1,7
		15	1,4 a 2,5
Verão	Seco	5	0,2 a 0,5
		10	0,4 a 0,9
		15	0,6 a 1,3
		20	0,8 a 1,8

Fonte: Adaptado de GRCA (2015)

As placas cimentícias produzidas em GRC podem ter as mais variadas dimensões, sendo muitas vezes produzidas conforme a necessidade. Uma forma padronizada de placas cimentícias são as usadas no sistema construtivo Light Steel Frame, onde possuem dimensões padronizadas em múltiplos de 0,60 metros, que é a posição dos montantes metálicos que sustentam as mesmas.

Com o intuito de definir um tipo de placa que possibilite a aplicação da metodologia de cálculo citada a cima, optou-se por estimar a carga para uma placa de 1,20 metros de comprimento, 2,40 metros de altura e com espessura de 0,015 metros.

Considerando a NBR 6123 (ABNT, 1988) que regulamenta as forças devidas ao vento, consegue-se estipular as cargas aplicadas sobre as placas. Supondo que esta placa seja posicionada na região de Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil, onde a velocidade básica do vento se aproxima de 44 m/s e que a edificação residencial possui 15 metros de altura, é possível determinar a força com que essa rajada de vento atua na placa. Para isso faz-se uso da Equação 4.

$$Q = 0,613 V_k^2 \quad (4)$$

Onde,  $V_k$  é a velocidade característica do vento, e é obtida através da Equação 5.

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (5)$$

Sendo  $V_0$  a velocidade inicial do vento e os parâmetros  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  estão relacionados com a tipologia do terreno, a rugosidade e a finalidade de ocupação, respectivamente, desta edificação, conforme indica a NBR 6123 (ABNT, 1988).

Substituindo os dados citados e retirados da normativa NBR 6123 (ABNT, 1988) na Equação 5, tem-se;

$$V_k = 44 * 1 * 0,9 * 1 = 39,6 \text{ m/s}$$

Deste modo, substituindo o valor de  $V_k$  na Equação 4 obtemos um valor de carga igual a:

$$Q = 0,613 * 39,6^2 = 961,28 \text{ N/m}^2$$

Porém, sabe-se que essa carga é distribuída pelo painel todo, então multiplicamos a carga  $Q$  pelo comprimento da placa ( $C$ ), conforme a Equação 6.

$$Q_{(m)} = Q * C \quad (6)$$

Substituindo pelos valores, obtêm-se

$$Q = 961,28 * 1,20 = 1153,5 \text{ N/m ou } 1,15 \text{ N/mm}$$

Para conseguir calcular o  $Q_d$ , ainda faz se necessário definir os coeficientes de majoração para posteriormente aplicar na Equação 1, sendo assim:

$$\gamma'_f = 1,4 \text{ (conforme o Quadro 3, carga permanente + vento)}$$

$$\gamma_{tv} = 1,1 \text{ (conforme o Quadro 4, painel } Skin \text{ moldado)}$$

$$\gamma_b = 1,05 \text{ (conforme o Quadro 5, } Single \text{ Skin)}$$

$$\gamma_c = 1,0$$

Aplicando os valores dos coeficientes na Equação 2, tem-se:

$$\gamma_f = 1,4 * 1,1 * 1,05 * 1,0 = 1,617$$

Desta forma, pode-se calcular o valor de  $Q_d$  pela Equação 1, então:

$$Q_d = 1,15 * 1,617 = 1,86 \text{ N/mm}$$

A resistência à flexão do material é calculada visando o estado limite último da peça, estado de colapso, através do momento fletor máximo que está descrito na Equação 7. Isto se faz necessário para posteriormente determinar a tensão à flexão da placa.

$$Mf_{\max} = \frac{(Qd \cdot l^2)}{8} \quad (7)$$

Substituindo pelos valores tem-se:

$$Mf_{\max} = \frac{(1,86 \cdot 2400^2)}{8} = 1.339.200 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

Para determinar a tensão à flexão basta dividir o momento fletor máximo pelo módulo resistente à flexão da peça plana. Este último é estabelecido pela Equação 8.

$$W_{\min} = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (8)$$

Substituindo obtém-se:

$$W_{\min} = \frac{15 \cdot 2400^2}{6} = 14.400.000 \text{ mm}^3$$

Com o momento fletor e o módulo resistente já calculados, pode-se definir a tensão à flexão através da Equação 9.

$$\sigma_u = \frac{Mf_{\max}}{W_{\min}} \quad (9)$$

Logo;

$$\sigma_u = \frac{1339200}{14400000} = 0,096 \text{ N/mm}^2$$

Para finalizar o cálculo da carga que a placa vai ter que suportar, ainda é necessário definir as tensões de retração ( $\sigma_{ss}$ ) e térmica ( $\sigma_{st}$ ) que são extraídas dos quadros 8 e 9, então:

$$\sigma_{ss} = 0,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (área externa com longa duração)}$$

$$\sigma_{st} = 1,8 \text{ N/mm}^2 \text{ (tensão seca e de maior temperatura)}$$

Após definidas as tensões pode-se calcular o  $\sigma_d$  através da Equação 10

$$\sigma_d = \sigma_u + \sigma_{ss} + \sigma_{st} \quad (10)$$

Substituindo, tem-se;

$$\sigma_d = 0,096 + 0,8 + 1,8 = 2,7 \text{ N/mm}$$

Assim obtém-se a carga estimada que estará atuando na placa. Porém as boas práticas de construção, juntamente com a metodologia de cálculo proposta pelo GRCA (2015) e aplicada para obter este valor, indicam que o mesmo deve ser multiplicado por um fator de segurança que está indicado no Quadro 6 e aplicar a Equação 3. Neste caso optou-se por usar um coeficiente de segurança igual a 3.

Logo, substituindo por valores na equação 3, tem-se;

$$F_d = 3 * 2,7 = 8,1 \text{ N/mm}^2, \text{ ou } 8,1 \text{ MPa.}$$

Desta forma, definiu-se que a carga mínima que a placa proposta deve suportar é de 8,1 MPa. No próximo capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios no estado endurecido.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Sabe-se que o CPR possui ótimas resistências mecânicas, principalmente a resistência à compressão e que isso está atrelado a sua composição granulométrica, bem como as condições de cura em que é submetido. Na resistência à flexão, além da estrutura granulométrica, a adição de fibras é responsável por uma melhora nesta propriedade, devido a uma melhor distribuição de tensões, porém, fibras de comprimento elevado podem interferir na granulometria da composição e contribuir negativamente nos resultados obtidos.

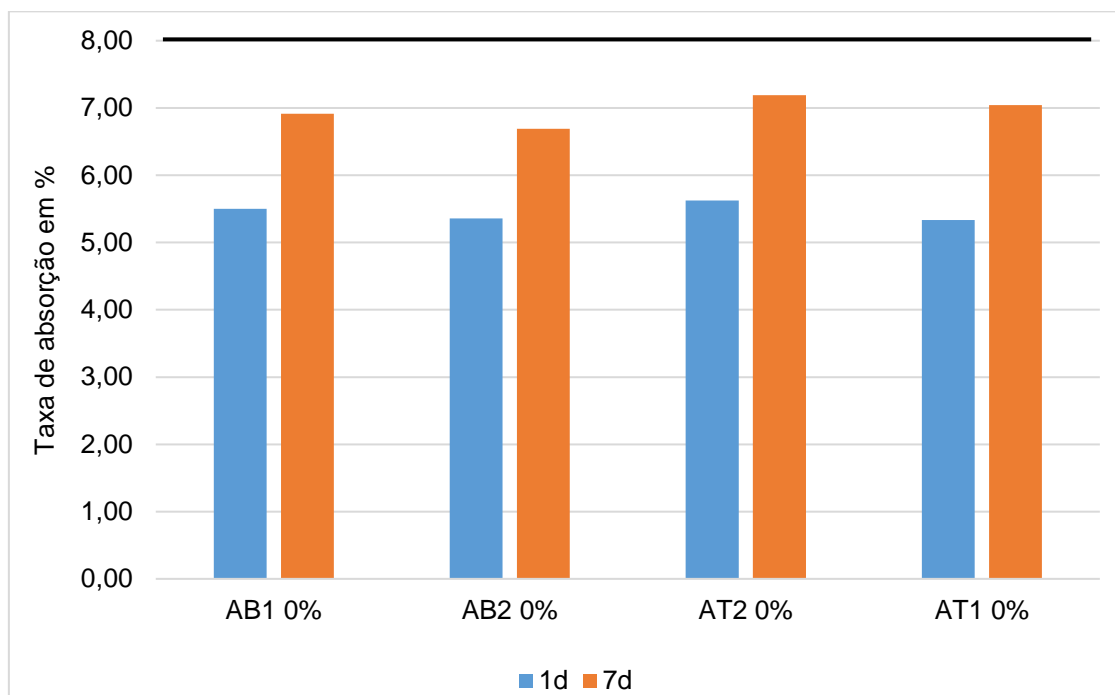
Além de melhorar as resistências mecânicas, a matriz granulométrica bem distribuída do CPR também é responsável pela diminuição do número de vazios da composição. A adição de fibras ajuda no combate a fissuração do material, consequentemente um material com menor grau de fissuração possui uma menor absorção de água. Porém, o excesso de fibras pode aumentar a porosidade do material.

### **4.1 Absorção de água**

A porosidade do material foi medida através da absorção de água, a qual seguiu as recomendações da NBR 15306-6 (ABNT, 2005), inclusive para a nomenclatura. Para um melhor entendimento os resultados serão apresentados separados por teores de fibras, pois, para cada placa extraiu-se 4 testemunhos (2 na vertical e 2 na horizontal) e com estes foi efetuado o ensaio de absorção de água, sendo realizadas duas leituras, uma com 24 horas e outra aos 7 dias. Lembrando que para placas de fachadas, conforme o GRCA (2015), a taxa de absorção de água ótima

é de no máximo 13% e o menor valor já encontrado, para esta propriedade foi de 8% e estes valores servirão de referência aos resultados obtidos nessa pesquisa. O Gráfico 2 demonstra a absorção de água da placa com 0% de fibra.

Gráfico 2: Absorção de água da placa com 0% de fibra



Fonte: Autor (2018)

O Gráfico 2 traz a absorção de água de cada testemunho extraído da placa com 0% de fibra. Nota-se que tanto nas primeiras 24 horas quanto nos 7 dias, que todos os resultados estão abaixo da porcentagem considerada como ótima pelo GRCA (2015), que é 13%, e menores que a mínima já encontrada para estas placas, e isto significa dizer que ocorreu uma menor absorção de água, portanto, pode-se considerar este resultado como ótimo. A média de absorção de água para a placa de 0% de fibra foi de 5,43% nas primeiras 24 horas e 6,98% aos 7 dias.

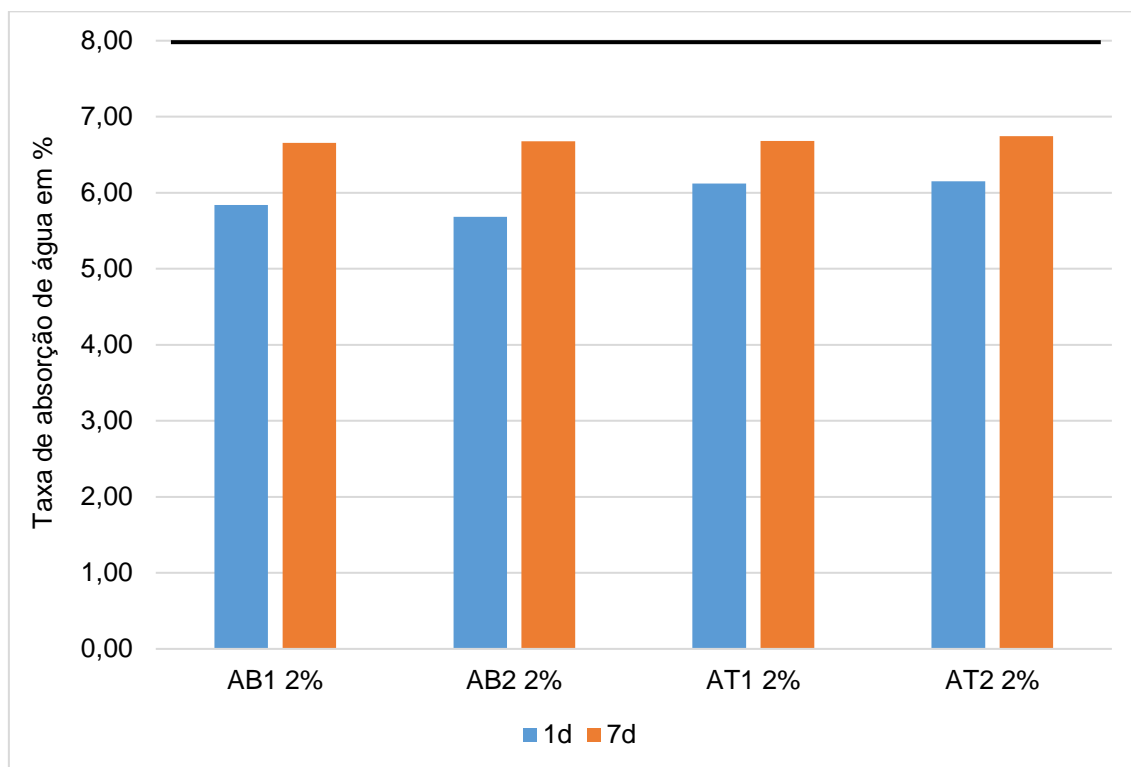
O Gráfico 3 apresenta a absorção de água para a placa com adição de 2% de fibras.

Nota-se, no Gráfico 3, que os valores de absorção de água para as placas com 2% de fibras também ficaram abaixo de 8%, em ambas as idades, o que é menor que valor de absorção de água já encontrado pelo GRCA (2015), portanto, pode-se dizer



que houve uma menor absorção de água, e que este resultado é considerado ótimo. A média de absorção de água ficou com 5,98% para as primeiras 24 horas e 6,68% nos 7 dias.

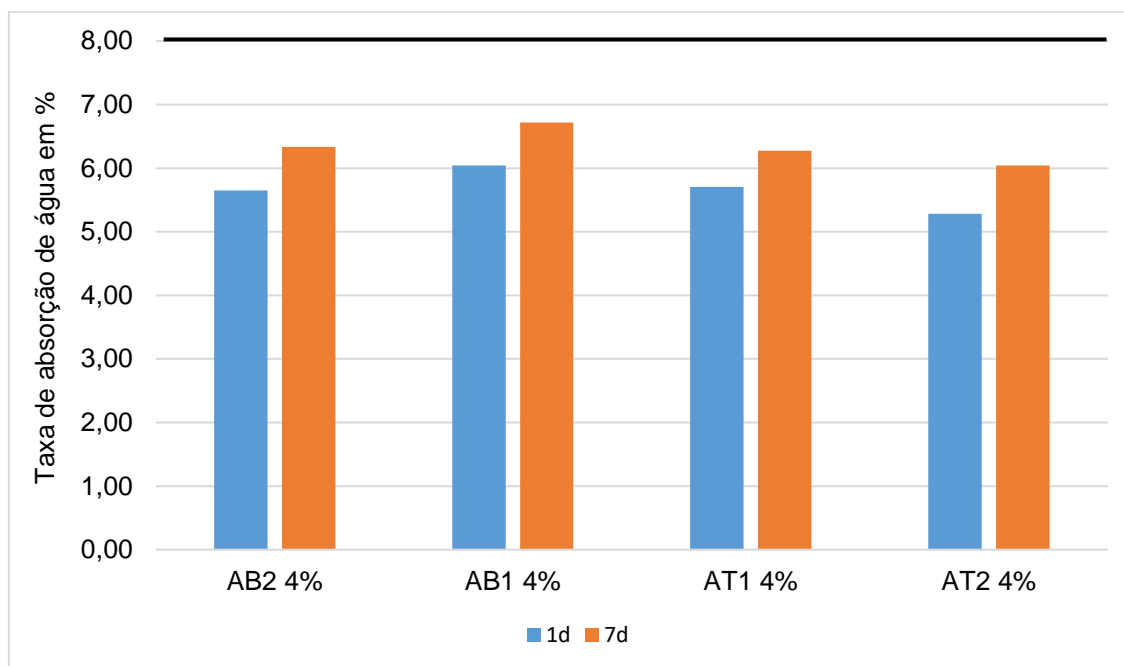
Gráfico 3: Absorção de água da placa com 2% de fibra



Fonte: Autor (2018)

O Gráfico 4 traz os resultados obtidos para a absorção de água da placa com adição de 4% de fibra, verifica-se que os valores de absorção de água, para ambas as idades, também ficaram abaixo de 8%, o que pode ser considerado ótimo. A média de absorção para essa placa foi de 5,68% nas primeiras 24 horas e de 6,38% nos 7 dias.

Gráfico 4: Absorção de água da placa com 4% de fibra



Fonte: Autor (2018)

Pode-se caracterizar a absorção de água obtida para cada teor de fibra como ótima, pois os valores obtidos foram inferiores aos resultados que o GRCA (2015) considera como ótimo, isto significa dizer que as placas analisadas neste trabalho obtiveram um desempenho melhor quando comparadas com o GRCA (2015).

Porém, com o intuito de verificar se os efeitos e as interações das amostras realizadas são significativos, realizou-se o teste estatístico da análise da variância ANOVA. Este consiste em comparar três ou mais grupos de amostras ou procedimentos, analisando a variância entre as médias das amostras.

A variância ANOVA estabelece duas hipóteses de resposta, se há diferença significativa entre os grupos de amostras, ou não há diferença significativa entre os grupos de amostras, por meio de dois métodos, sendo um deles o teste F. Portanto se  $F > F_{\text{crítico}}$  há uma diferença significativa entre os grupos, caso contrário, considera-se que não há diferença significativa entre os grupos. Outra forma de se classificar o grupo de amostras é pelo nível de significância ( $\alpha$ ) que consiste em se assumir um erro aceitável (normalmente 5%) e o comparar com o valor  $-P$  que é o erro calculado pela variância ANOVA, portanto se  $-p < \alpha = 0,05$  considera-se que há diferença

significativa entre os grupos de amostras, caso o contrário aconteça, considera-se que não diferença significativa entre os grupos.

Após calculado a variância ANOVA e constatada a diferença entre grupos, é interessante identificar se todos os grupos se assemelham ou se diferem e uma alternativa é utilizar o teste de Tukey, que permite analisar qualquer distinção entre as médias, ou seja, indica quais médias se assemelham e quais se diferem.

Para calcular a variância ANOVA utilizou-se o software excel, já para a aplicação do teste de Tukey, usou-se o software InfoStat/E que é um software estatístico e gratuito na versão estudante, onde classifica cada grupo de amostras com uma letra, isto significa que se temos três grupos de amostras teremos três letras, se todas as médias diferem entre si, cada uma ganha uma letra diferente (A, B, C).

Desta forma, a Tabela 1 traz a variância para a absorção de água nas primeiras 24 horas.

Tabela 1: Variância ANOVA da absorção de água nas primeiras 24 horas

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0% fibra	4	21,82	5,46	0,02
2% Fibra	4	23,79	5,95	0,05
4% fibra	4	22,68	5,67	0,10

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GI</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,49	2	0,24	4,41	0,0462	4,26
Dentro dos grupos	0,50	9	0,06			
Total	0,98	11				

Fonte: Autor (2018)

Onde, contagem é o número de amostras analisadas para cada teor de fibra, soma é a soma de todas as amostras de um mesmo grupo, média é a média aritmética de cada grupo de amostras e a variância é a medida de amplitude das amostras, ou seja, o quanto as amostras estão distantes da média.

Portanto, adotando um nível de significância igual 5% ( $\alpha=0,05$ ) e o compararmos com o valor -P calculado, nota-se que há diferença significativa entre grupos e o teste F contribui para essa afirmação, já que  $F > F_{\text{crítico}}$ . Portanto faz-se necessário aplicação do teste Tukey para analisar a magnitude dessa diferença, que está ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2: Teste Tukey para a absorção de água nas primeiras 24 horas

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,46364

Error: 0,0552 gl: 9

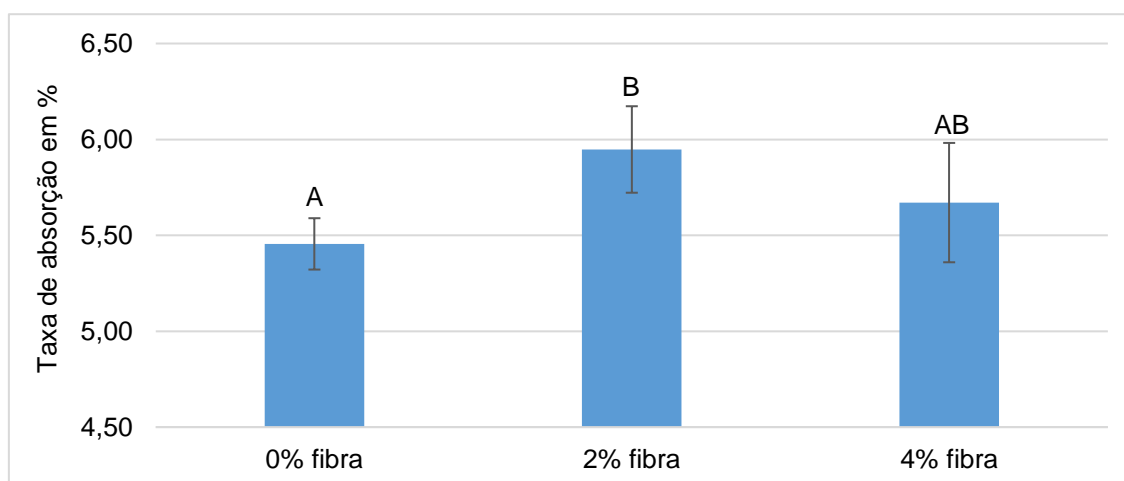
Teor de fibra	Médias	
2% Fibra	5,95	A
4% Fibra	5,67	A B
0% Fibra	5,46	B

Médias com uma letra comum não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fonte: Autor (2018)

Através do teste de Tukey podemos dizer que há diferença significativa entre os grupos de amostras 0% de fibra e 2% de fibra, enquanto que o grupo de amostra 4% de fibra possui parte das amostras semelhantes as amostras com 0% e parte semelhante as com 2% de fibra. Pode-se dizer então que há a influência do teor de fibra na absorção de água. O Gráfico 5 representa as médias da absorção de água no primeiro dia, juntamente com a indicação do desvio padrão e classificação pelo teste Tukey.

Gráfico 5: Média da absorção de água no primeiro dia



Fonte: Autor (2018)

Nota-se, no Gráfico 5, que as fibras auxiliam nos ganhos iniciais da absorção de água, principalmente com a adição de 2% de fibra. Um dos motivos que pode explicar esse ganho na absorção de água é o tamanho da fibra, pois como comentado anteriormente, o CPR possui como característica uma matriz granulométrica bem distribuída e adição de fibras pode interferir na matriz do concreto, de maneira negativa, e desconfigurar a distribuição granulométrica. Porém, não se pode afirmar que a fibra possa ter influenciado na matriz granulométrica, pois a placa com 4% de fibra possui uma média semelhante a sem fibra.

Os resultados da absorção de água aos 7 dias, que são os mais relevantes segundo a NBR 15306-6, também foram submetidos a análise da variância ANOVA, ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3: Análise da variância da absorção de água aos 7 dias

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0% fibra	4	27,84	6,96	0,04
2% fibra	4	26,76	6,69	0,00
4% fibra	4	25,38	6,34	0,08

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GI</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,76	2	0,38	9,22	0,0066	4,26
Dentro dos grupos	0,37	9	0,04			
Total	1,13	11				

Fonte: Autor (2018)

Onde a contagem é o número de amostras, a soma é a soma de todas as amostras do mesmo teor de fibra, a média é a média aritmética de cada grupo de amostra e a variância é a amplitude das amostras, ou seja, o quanto as amostras se distanciam da média.

Analisando a Tabela 3, temos que  $F > F_{\text{crítico}}$ , portanto há diferença significativa entre os grupos, sendo afirmado pelo nível de significância igual a 5% ( $\alpha=0,05$ ) maior que o valor -P calculado. Portanto, se faz necessário a análise da magnitude dessa diferença através da análise de Tukey, explicito na Tabela 4.

Tabela 4: Teste Tukey para a absorção de água aos 7 dias

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,40135

Error: 0,0413 gl: 9

Teor de fibra Médias.

4% Fibra	6,35	A
2% Fibra	6,69	A B
0% Fibra	6,96	B

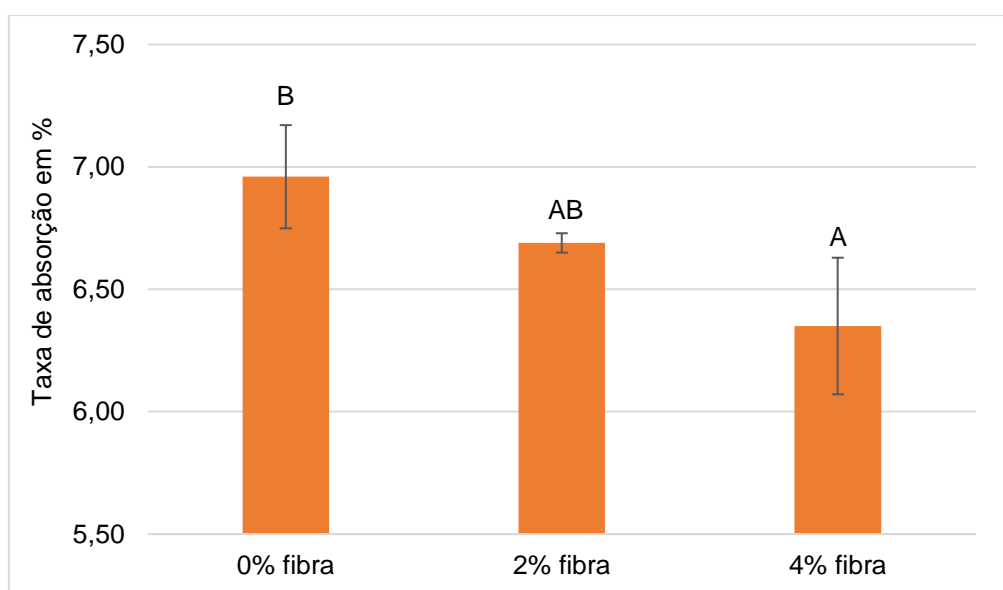
Médias com uma letra comum não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fonte: Autor (2018)

Pelo teste de Tukey, pode-se afirmar que existe uma diferença significativa entre os grupos 4% de fibras e 0% de fibras, enquanto que o grupo 2% de fibra possui semelhanças com os outros dois grupos.

O Gráfico 6 representa as médias da absorção de água, simultaneamente com o desvio padrão e caracterização pelo teste Tukey aos 7 dias, onde comprova-se que o grupo de amostras 2% de fibras tem semelhanças com os grupos de amostras 0% de fibras e 4% de fibras e estes diferem entre si.

Gráfico 6: Médias da absorção de água aos 7 dias

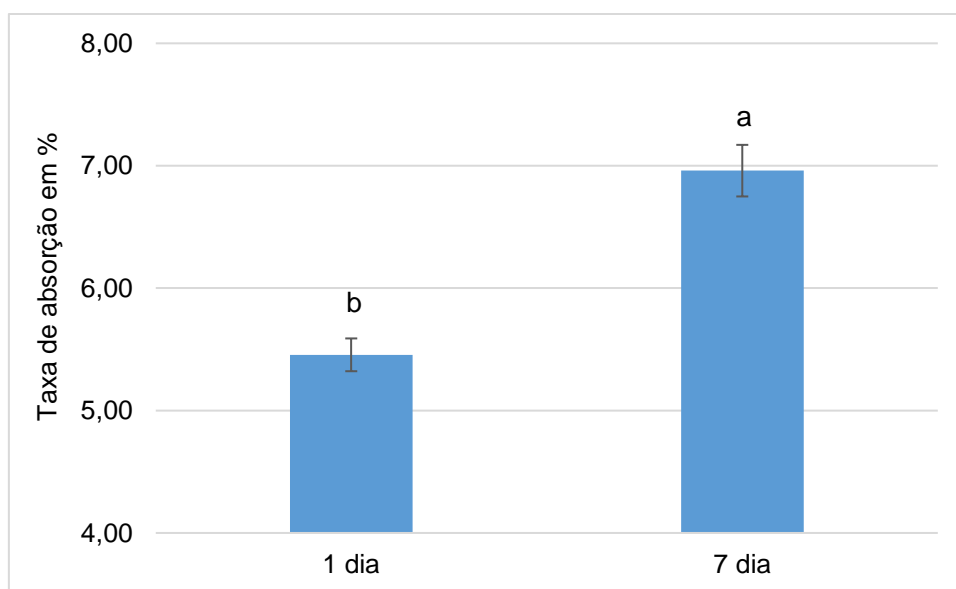


Fonte: Autor (2018)

Observa-se, no Gráfico 6, que aos 7 dias a situação se inverteu, e a placa com 0% de fibras tem uma maior absorção de água quando comparada com as outras placas com 2% e 4% de fibras, porém, essa absorção é mais lenta, dando indícios de uma maior porosidade, e consequentemente um maior grau de saturação. Como as médias das amostras das placas 0% de fibra e 4% de fibra se diferem, enquanto que a placa com 2% de fibra se assemelha as demais, percebe-se uma influência positiva da adição das fibras, indo ao contrário do ocorrido no primeiro dia, portanto, existe a possibilidade de o tempo influenciar na absorção de água, porém, como as médias da absorção de água das placas com 2% e 4% ficaram muito próximas pode ser que sejam semelhantes ao longo do tempo.

Deste modo, aplicou-se o teste da variância ANOVA e o teste Tukey para cada placa variando tempo, ou seja, verificando se o tempo teve influência nas médias encontradas para cada placa se com a variação do tempo. O Gráfico 7 demonstra a variação da absorção de água da placa com 0% de fibra no primeiro dia e no sétimo dia.

Gráfico 7: Médias da absorção de água da placa com 0% de fibra ao longo do tempo

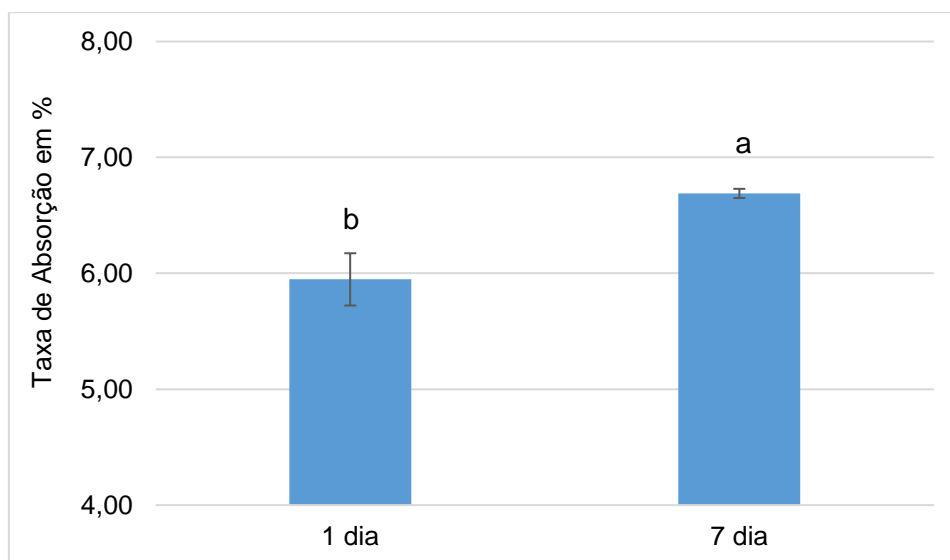


Fonte: Autor (2018)

Vê-se, no Gráfico 7 que há um aumento na absorção de água com o passar do tempo, com uma variação relativamente pequena (1,5%), e que as médias diferem entre si, portanto existe influência do tempo na absorção de água.

O Gráfico 8 apresenta as médias da absorção de água para as placas com 2% de fibras ao longo do tempo.

Gráfico 8: Médias da absorção de água da placa com 2% de fibra ao longo do tempo

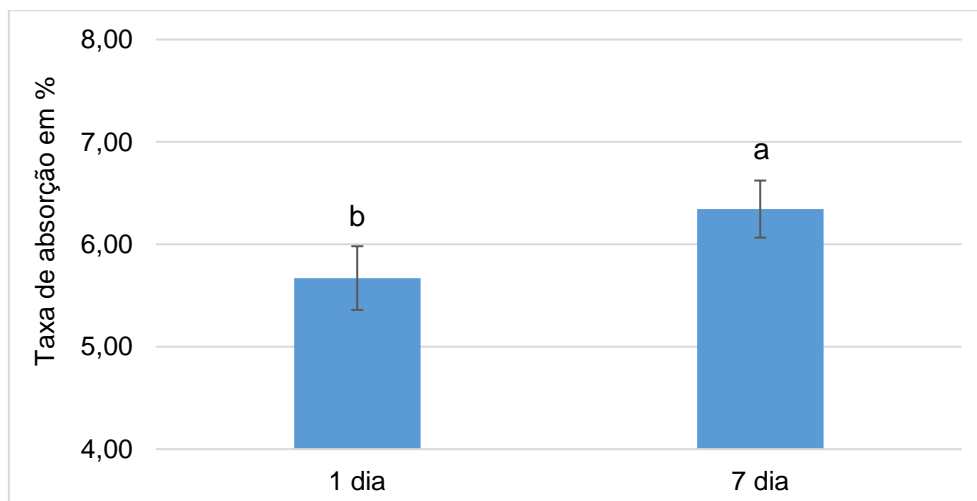


Fonte: Autor (2018)

Percebe-se, no Gráfico 8, que uma variação na absorção de água na placa com 2% de fibra, porém menor que a placa com 0% de fibra. Nota-se também, que há diferença nas médias, portanto pode-se dizer que o tempo influencia na absorção de água.

O Gráfico 9 exibe as médias da absorção de água para as placas com 4% de fibra no primeiro dia e no sétimo dia.

Gráfico 9: Médias da absorção de água da placa com 4% de fibra ao longo do tempo



Fonte: Autor (2018)



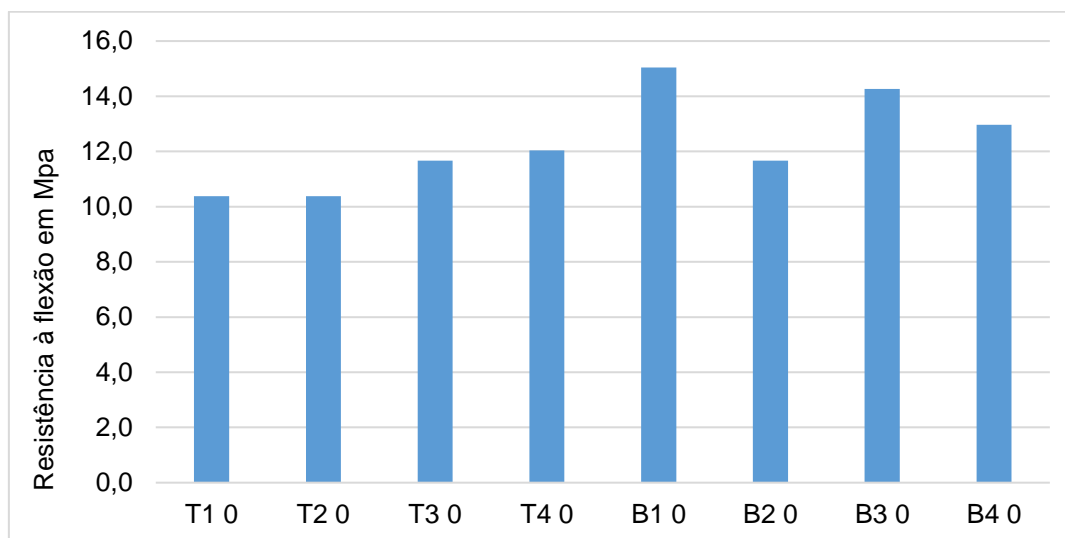
Nota-se, no Gráfico 9, que existe uma variação na absorção de água da placa com 4% de fibra ao longo do tempo, porém menor que a com 0% de fibra e a com 2% de fibra. Percebe-se também, que as médias diferem entre si, portanto o tempo influencia na absorção de água.

Portanto, pode-se dizer que a variável tempo interfere na absorção de água de todas as placas e que as fibras influenciam na absorção de água, pois viu-se no Gráfico 5 um decréscimo na absorção de água da placa com 0% de fibra para a com 4% de fibra, enquanto que a placa com 2% de fibra possuiu média semelhante as outras duas placas. E que as placas que possuem fibras têm poros maiores que a sem fibra, já que tiveram uma maior absorção inicial, enquanto que a sem fibra obtiveram uma absorção mais lenta, fruto de poros menores, porém, em maior quantidade, já que alcançaram uma maior taxa de absorção de água.

## **4.2 Resistência à flexão**

Os critérios usados na elaboração do ensaio de resistência à flexão seguiram a normativa NBR 15306-5 (ABNT, 2005), onde foram recortados 8 testemunhos (4 na vertical e 4 na horizontal) e com estes realizou-se o ensaio de flexão, a nomenclatura de cada testemunho seguiu as indicações da mesma normativa. Seguindo os moldes da absorção de água, primeiramente serão mostrados os resultados dos testemunhos de cada placa e posteriormente uma análise das médias obtidas de cada grupo de amostra. O Gráfico 10 ilustra o resultado das resistências á flexão aos 7 dias obtidas através do rompimento dos testemunhos das placas com 0% de fibra.

Gráfico 10: Resistência à flexão aos 7 dias das placas com 0% de fibra

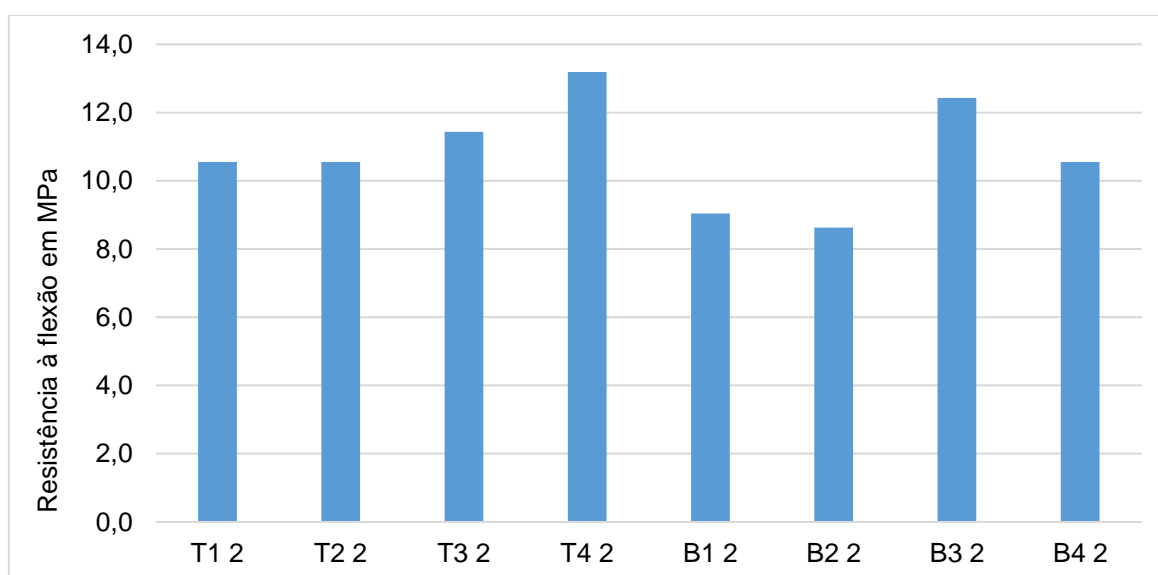


Fonte: Autor (2018)

A média encontrada para a resistência à flexão das placas com 0% de fibras foi de 12,31 MPa, sendo, um resultado melhor que a resistência estimado na metodologia aos 28 dias que foi de 8,1 MPa, e isso se justifica, pois o uso de aglomerante do tipo CP IV-ARI desenvolve a maior parte da resistência ainda nas idades iniciais.

O Gráfico 11 ilustra a resistência à flexão aos 7 dias dos testemunhos com 2% de adição de fibras.

Gráfico 11: Resistência à flexão aos 7 dias das placas com 2% de fibras

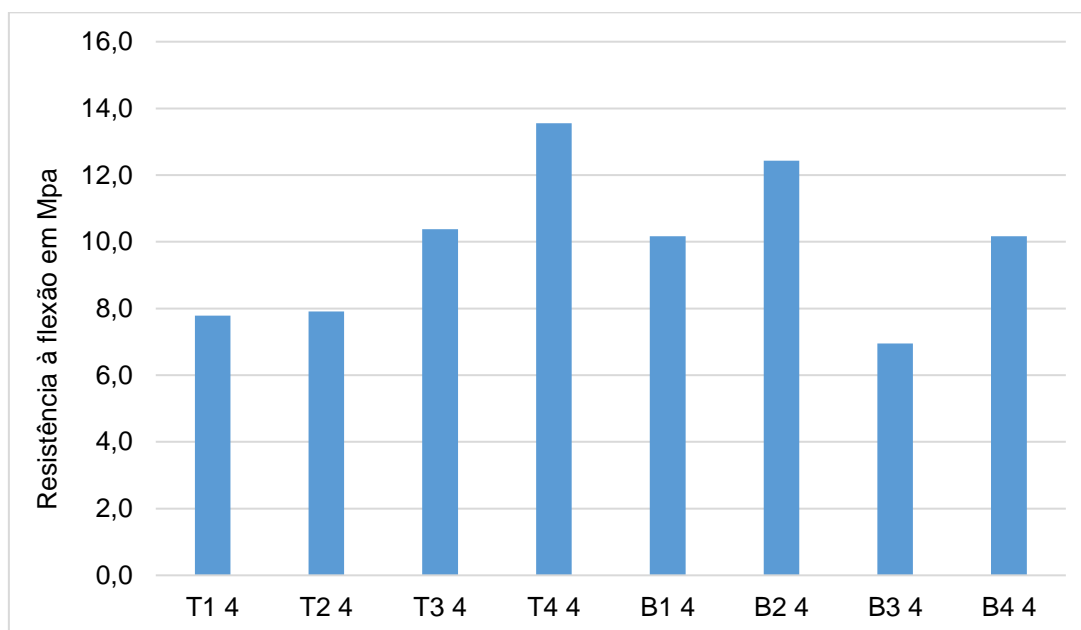


Fonte: Autor (2018)

Com os resultados dos testemunhos da placa de 2% de fibras, calculou-se a média da resistência à flexão da placa, obtendo um valor de 10,80 MPa que é menor que a média da placa com 0% de fibra, mas é maior que a resistência estimada, que foi de 8,1 MPa. Nota-se uma pequena variação quando comparamos as médias das placas com 0% de fibra e 2%, porém, só com essa análise não é possível afirmar que as fibras influenciaram nesse resultado.

O Gráfico 12 ilustra a resistência à flexão dos testemunhos da placa com 4% de fibras, onde a média da placa com 4% de fibra foi de 9,92 MPa, um valor inferior ao das placas com 0% de fibras e a com 2% de fibras, porém, é maior que a resistência estimada, que foi de 8,1 MPa. Para este teor de fibra, percebe-se uma variação nas médias obtidas, quando comparadas entre si, porém, só com essa análise não é concebível dizer que as fibras influenciaram para isto.

Gráfico 12: Resistência à flexão aos 7 dias da placa com 4% de fibras



Fonte: Autor (2018)

Após realizado cálculos das médias para cada placa realizou-se a análise da variância ANOVA para as médias das resistências à flexão aos 7 dias, e no teste F encontramos um valor de  $F < F_{\text{crítico}}$  o qual evidencia que não há diferença significativa entre os grupos e o nível de significância com valor de 5% menor que o valor -p calculado comprova esta afirmação, estando exemplificado na Tabela 5, onde

contagem é o número de amostras, soma é a soma das amostras, média é a média das amostras e a variância é amplitude das amostras.

Tabela 5: Análise da variância da resistência à flexão

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0% fibra	8	98,41	12,30	2,87
2% fibra	8	86,39	10,80	2,40
4% fibra	8	79,34	9,92	5,33

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GI</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	23,24	2	11,62	3,29	0,057122	3,47
Dentro dos grupos	74,16	21	3,53			
Total	97,40	23				

Fonte: Autor (2018)

Deste modo, não se faz necessário a aplicação do teste Tukey, mas, com o intuito de verificar a veracidade desta semelhança, aplicou-se o teste para as médias da flexão aos 7 dias e os resultados da análise estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6: Teste Tukey para a resistência à flexão aos 7 dias

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,36366

Error: 3,5175 gl: 21

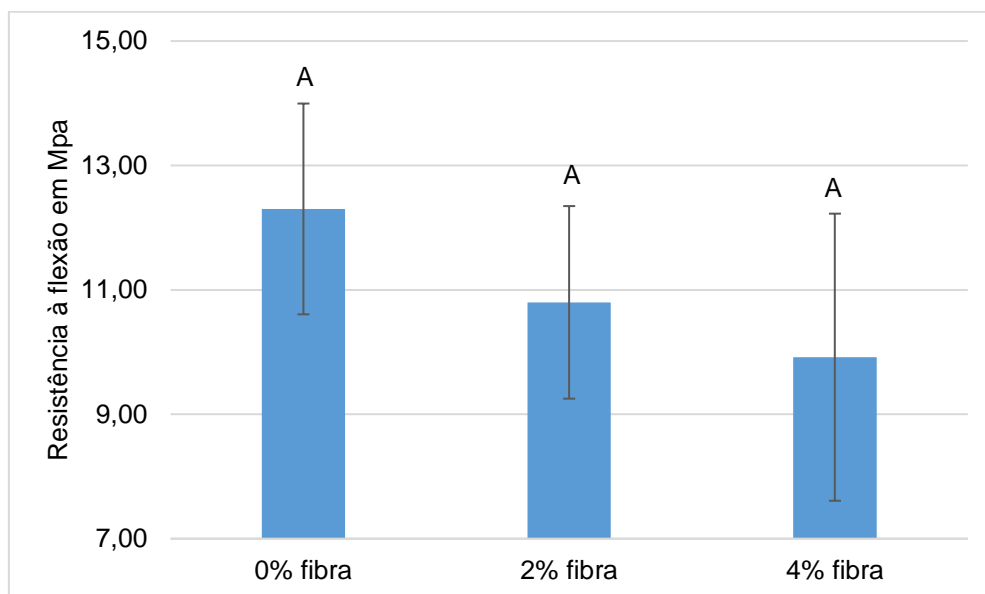
<u>Teor de Fibra</u>	<u>Médias</u>	
0% Fibra	12,31	A
2% Fibra	10,80	A
4% Fibra	9,92	A

Médias com uma letra comum não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fonte: Autor (2018)

Analisando a Tabela 6, nota-se que existe semelhanças entre placas. Portanto, aplicando-se esses valores na representação gráfica e adicionando-se os valores do desvio padrão de cada amostra, constata-se que as placas se assemelham, estando melhor ilustrado no Gráfico 13. Portanto, pode-se dizer as fibras não influenciaram nos resultados de resistência à flexão aos 7 dias.

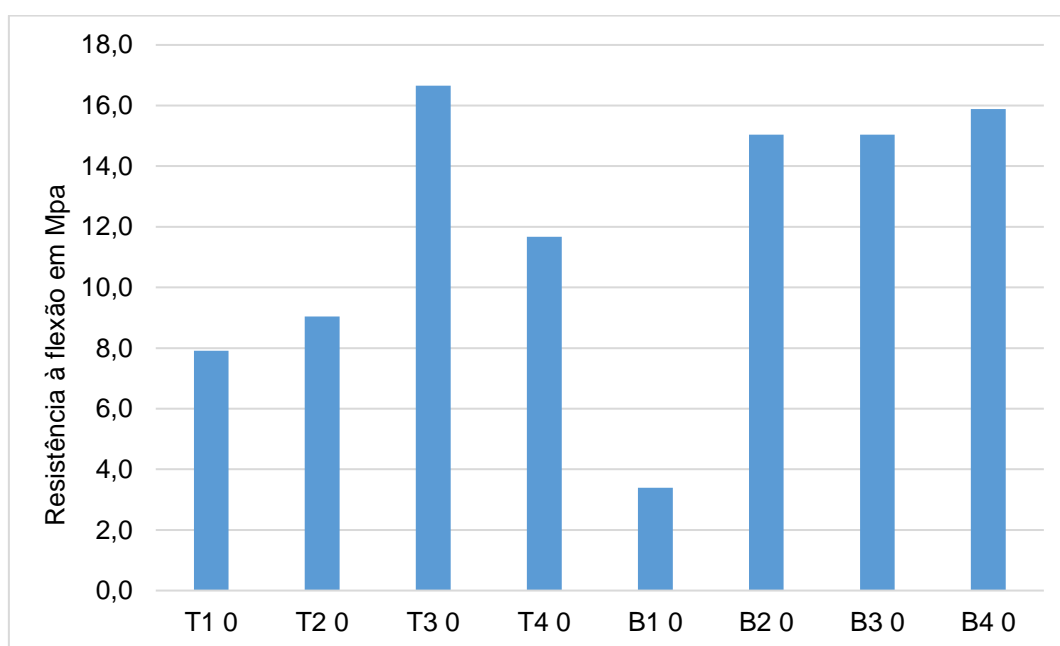
Gráfico 13: Média das placas para a resistência à flexão aos 7 dias



Fonte: Autor (2018)

Sabe-se que aos 28 dias o concreto atinge valores muito próximos de sua resistência máxima, por isso realizou-se ensaios de resistência à flexão nessa idade e o Gráfico 14 demonstra os ganhos de resistência á flexão dos testemunhos das placas de 0% de fibra aos 28 dias.

Gráfico 14: Resistência a flexão aos 28 dias da placa com 0% de fibra

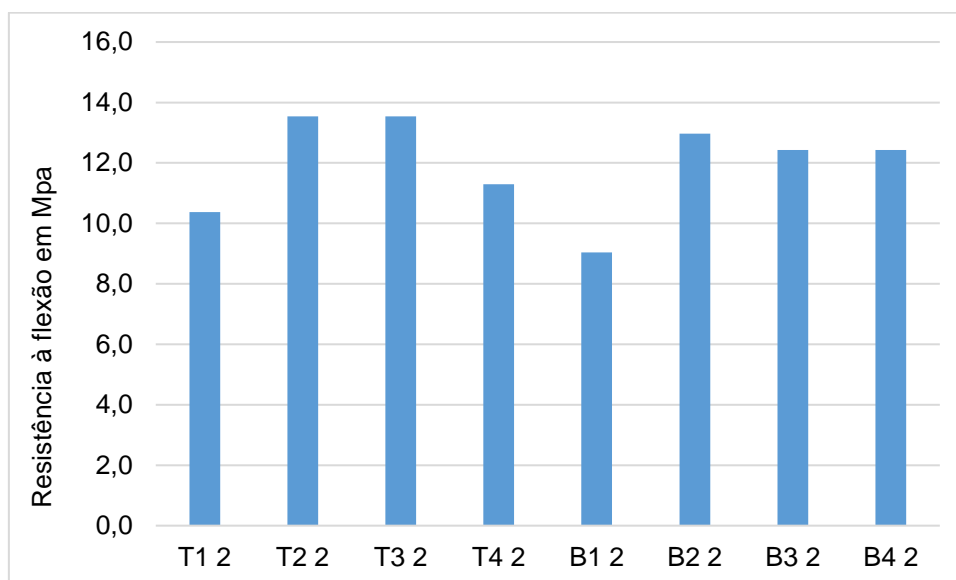


Fonte: Autor (2018)

Nota-se, no Gráfico 14, que os resultados obtidos são muito dispersos, havendo valores muito baixos que podem influenciar negativamente no conjunto de amostras. Vê-se que a amostra B1 0 possui um valor muito baixo quando comparado com os demais, pois trata-se de um erro experimental, portanto foi descartado do cálculo da média. Desta maneira obteve-se uma média de 13,03 MPa, que foi maior que a da placa com o mesmo percentual de fibra rompida aos 7 dias, e consequentemente, maior que o resultado esperado descrito na metodologia de 8,1 MPa.

O Gráfico 15 traz a resistência à flexão dos testemunhos da placa com adição de 2% de fibras aos 28 dias.

Gráfico 15: Resistência à flexão da placa com 2% de fibra



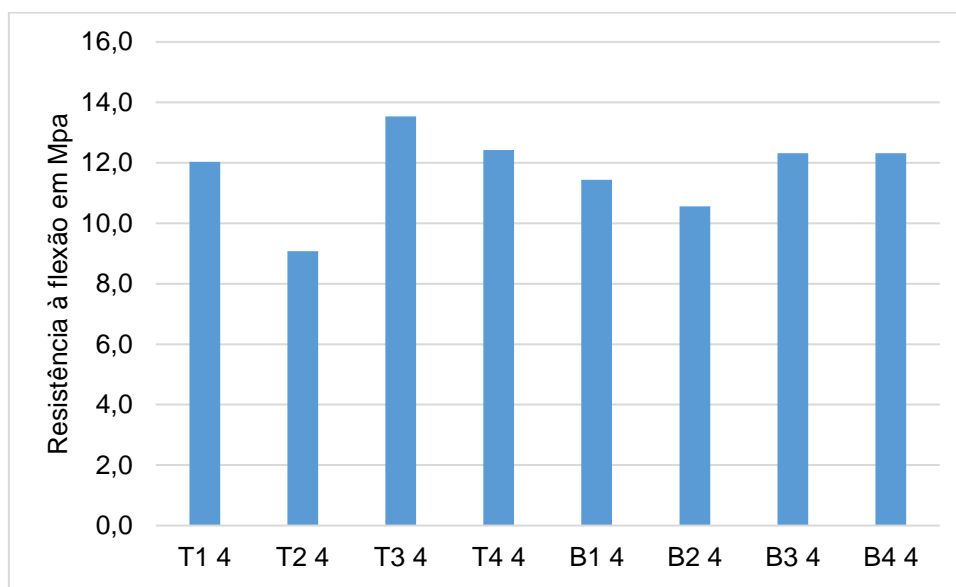
Fonte: Autor (2018)

Verifica-se, no Gráfico 15, que existe uma variação nos dados obtidos, mas nenhum que influenciava diretamente no cálculo da média. Portanto, o valor da média obtido foi de 11,94 MPa, maior que o resultado obtido para a mesma placa aos 7 dias, assim sendo, superior ao resultado esperado descrito na metodologia de 8,1 MPa.

O Gráfico 16 traz a resistência à flexão dos testemunhos da placa adição de 4% de fibra aos 28 dias. Nota-se, que existe uma variação nos resultados, porém não suficiente para influenciar na média. Deste modo obteve-se uma resistência à flexão média de 11,70 MPa, que foi maior que o encontrado para mesma placa aos 7 dias,

por conseguinte, maior que a resistência à flexão determinada na metodologia de cálculo que era de 8,1 MPa. Percebe-se também, uma proximidade nos resultados das médias, dando indícios de que pertençam ao mesmo grupo, ou seja, fornecendo evidências de que não há diferença entre as médias.

Gráfico 16: Resistência à flexão da placa com 4% de fibra aos 28 dias



Fonte: Autor (2018)

Percebe-se que as médias, da resistência à flexão de todas as placas, possuem valores muito próximos um do outro (13,03; 11,94; 11,70), portanto se faz necessário uma análise que permita identificar se as médias diferem ou não entre si.

Com a determinação das médias das placas aos 28 dias, aplicou-se o teste da variância ANOVA e pelo teste F, nota-se que o  $F < F_{\text{crítico}}$ , portanto, não há diferença significativa entre as médias e isto fica comprovado pela análise da significância com 5%,  $\text{valor-}p > \alpha = 0,05$ , conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7: Análise da variância para as médias da resistência à flexão aos 28 dias

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
0% fibra	8	94,63	13,03	10,48
2% fibra	8	95,62	11,94	2,56
4% fibra	8	93,70	11,70	1,86

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GI</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,23	2	0,12	0,013	0,987071	3,467
Dentro dos grupos	185,74	21	8,84			
Total	185,97	23				

Fonte: Autor (2018)

Desta maneira, não se faz necessária a análise dos dados pelo teste de Tukey, porém, para assegurar a veracidade das amostras, aplicou-se o teste e o resultado está explícito na Tabela 8.

Tabela 8: Teste Tukey para a resistência à flexão aos 28 dias

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,95581

Error: 5,2117 gl: 20

Teor de Fibra Médias

0% fibra	13,03	A
2% fibra	11,94	A
4% fibra	11,70	A

Médias com uma letra comum não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

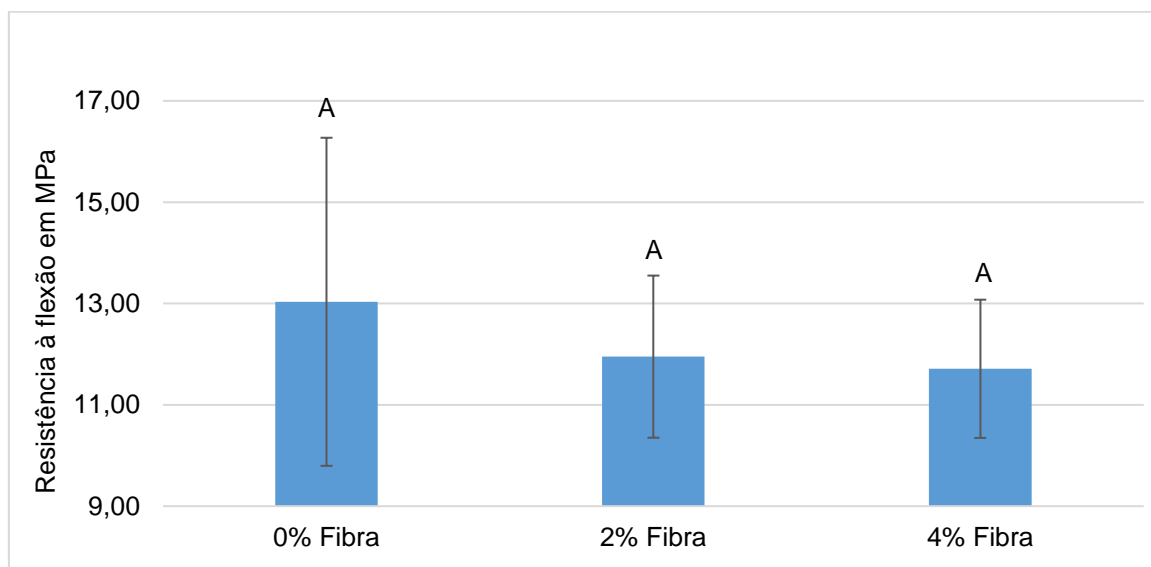
Fonte: Autor (2018)

Portanto, a Tabela 8 mostra que a hipótese de que não há diferença significativa entre as médias é válida, e isso permite dizer que todas as médias pertencem ao mesmo grupo.

O Gráfico 17 representa a aplicação do teste Tukey e do desvio padrão nas médias das placas aos 28 dias.



Gráfico 17: Média da resistência à flexão das placas aos 28 dias

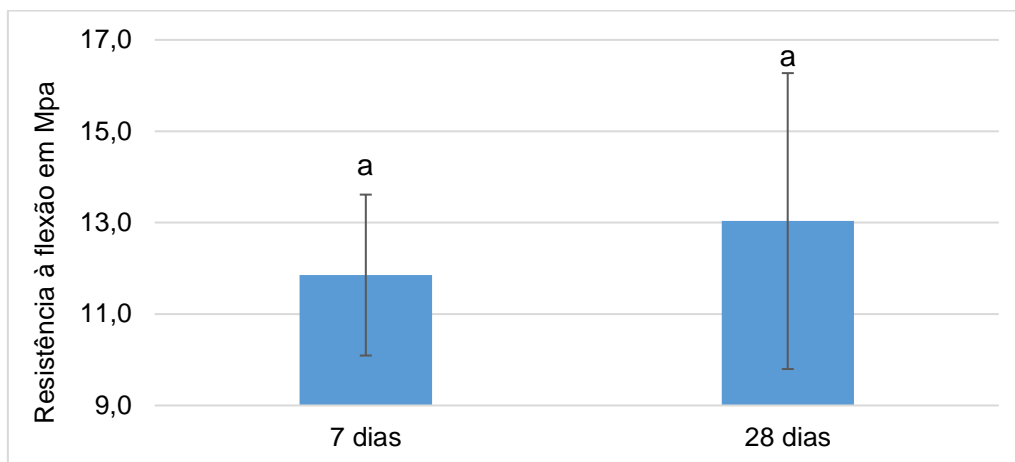


Fonte: Autor (2018)

Nota-se, no Gráfico 17, que todas as médias se assemelham, portanto, não é possível afirmar se houve influência da adição de fibras a mistura, já que, as médias com seus respectivos desvios padrão podem ser consideradas como pertencentes ao mesmo grupo. Porém, se faz necessária uma análise dos ganhos de resistência em função do tempo, para saber se as médias pertencentes ao mesmo grupo de amostras são diferentes entre si ou não (ex: se as médias aos 7 e 28 dias da placa com 0% de fibra são semelhantes ou não).

No Gráfico 18, verifica-se que não há a influência do tempo nas médias das placas com 0 % de fibra.

Gráfico 18: Média das resistência à flexão ao longo do tempo da placacom 0% de fibra.

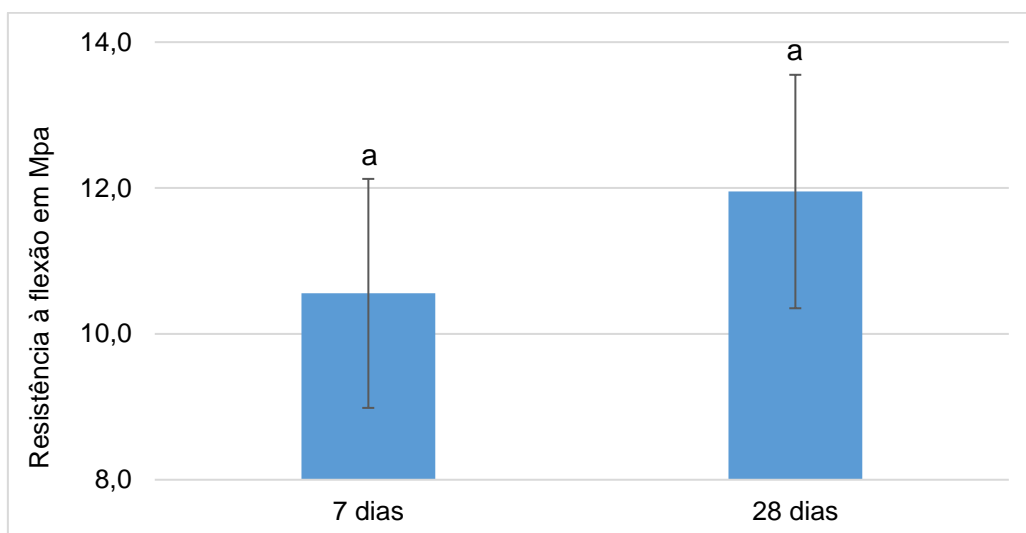


Fonte: Autor (2018)

Nota-se, que as médias não diferem entre si, portanto há uma semelhança entre as mesmas. Pode-se dizer que no período de tempo analisado, de 7 aos 28 dias não houve influência na resistência à flexão da placa com 0% de fibras, o que já era esperado, pois o aglomerante utilizado (CP V ARI-RS) se caracteriza por maiores ganhos de resistência inicial.

O Gráfico 19 apresenta as médias, em função do tempo, para as placas com 2% de fibra.

Gráfico 19: Média da resistência à flexão ao longo do tempo das placas com 2% de fibra

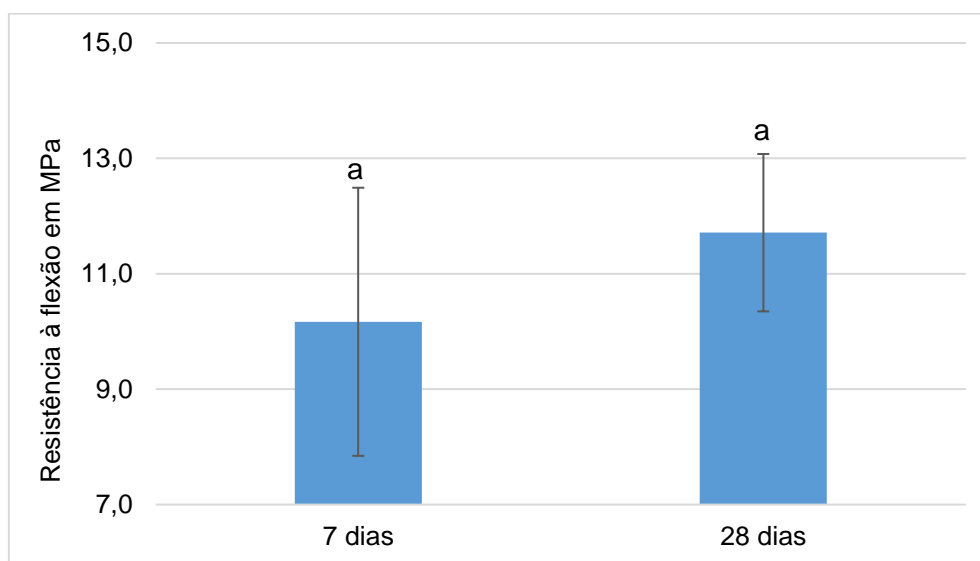


Fonte: Autor (2018)

Percebe-se que há uma semelhança entre as médias, logo, pode-se dizer que essa faixa de tempo (7 a 28) não interferiu nos ganhos de resistência à flexão na placa com 2% de fibra, devido ao tipo do aglomerante utilizado

O Gráfico 20 apresenta a média da resistência à flexão aos 7 e 28 dias para as placas com 4%.

Gráfico 20: Médias da resistência à flexão da placa com 4% de fibra ao longo do tempo



Fonte: Autor (2018)

Percebe-se, no Gráfico 20, que há semelhanças entre as médias da placa com 4% de fibra, isso significa dizer que o período de tempo analisado não influenciou na resistência à flexão, sendo justificável pelo tipo de aglomerante utilizado.

Viu-se que existe semelhanças nas médias de todas as placas em função do tempo, independente do teor de fibra, e por isso pode-se dizer que as médias das placas em função do teor de fibra também se assemelham. Portanto, pode-se dizer que as fibras não influenciaram nos resultados de resistência à flexão, mas contribuíram para uma melhoria na taxa de absorção de água, além de que todos os resultados foram considerados ótimos.

No próximo capítulo serão realizadas as conclusões dos resultados obtidos para os ensaios de absorção de água e resistência à flexão.

## 5 CONCLUSÕES

Com a apresentação dos resultados no capítulo anterior, pode-se concluir que, para a propriedade física da absorção de água, os valores encontrados foram melhores que os indicados com ótimo pelo GRCA (2015) em todos os teores de fibra. Além de que, houve uma redução na absorção de água, quando se compara a placa com 0% de fibra e a placa com 4% de fibra, enquanto que a placa com 2% de fibra se assemelhou com as demais, portanto pode-se dizer que as fibras influenciaram positivamente nessa propriedade física, reduzindo a taxa de absorção de água.

Já, para resistência à flexão, os resultados não só foram atingidos como superaram os estimados, mas esperava-se que as fibras provocassem melhorias nos ganhos de resistências, já que influenciaram na melhoria da taxa de absorção de água, e como vimos, menores porosidades significam uma matriz granulométrica mais compacta e consequentemente maiores resistências. Porém, não foi possível verificar a influência das fibras nessa propriedade mecânica, pois através da análise da variância ANOVA verificou-se que existia similaridade nas médias encontradas.

Portanto, conclui-se que as placas produzidas com CPR são viáveis, do ponto de vista técnico, já que as propriedades aqui avaliadas demonstraram desempenhos melhores que as placas produzidas com GRC. Porém, nos teores de fibras estudados, não foi possível identificar melhorias na resistência à flexão e a melhoria encontrada na absorção de água foi pequena, além de que, todas as placas atingiram taxas de absorção melhores que a considerada ótima pelo GRCA (2015). Deste modo, pode-se descartar a adição de fibras pois pouco interferiram nos resultados.

Fica como sugestão para próximos trabalhos, verificar a influência da cura nas propriedades analisadas nesse trabalho, baseando-se em outras normativas, como

por exemplo a NBR 13279 (ABNT, 2005), que trata da resistência á tração na flexão através de corpos de provas prismáticos, bem como, testando outros teores de fibras, pois baseando-se nos resultados de absorção de água, onde houve melhorias, acredita-se que as fibras também possam influenciar na melhoria da resistência à flexão.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marília Corrêa de. **Fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha: comparativo dos processos de execução**. 2010. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26059/000755703.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 abr. 2018

ANDRADE, Talita Cristina C. Soares de. **Avaliação do tipo de cura nas propriedades de concretos de pós reativos**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <[https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43024/R - D - TALITA CRISTINA C SOARES DE ANDRADE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/43024/R-D-TALITA%20CRISTINA%20C%20SOARES%20DE%20ANDRADE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 04 abr. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15305**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - procedimentos para controle de fabricação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15306-1**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio parte 1: medição da consistência da matriz. Rio de Janeiro: ABNT, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15306-4**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio parte 4: medição da resistência a flexão - método "ensaio simplificado de flexão". Rio de janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15306-5**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio parte 5: medição da resistência a flexão, método de "ensaio completo de flexão". Rio de janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15306-6**: Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - método de ensaio parte 6: determinação da absorção da água por imersão e da massa unitária seca. Rio de janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Calda de cimento para injeção parte 2: determinação do índice de fluidez e da vida útil - método de ensaio. Rio de janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956-4**: Sílica ativa para uso com cimento portland em concreto, argamassa e pasta parte 4: determinação do modulo de finura por meio da peneira 45µm. Rio de janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para find estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de janeiro: ABNT 2015

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7681**: Calda de cimento para injeção parte 2: determinação do índice de fluidez e da vida útil - método de ensaio. Rio de janeiro: ABNT, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de janeiro: ABNT, 2017.

BARTH, Fernando; FACCIO, Juliano. **Fabricação de painéis GRC para as torres da catedral da sé**. 2003. Disponível em: <[http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2003/artigos/COF03\\_1013.pdf](http://www.abcm.org.br/anais/cobef/2003/artigos/COF03_1013.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

BIZ, Carlos Eduardo. **Concreto de Pós Reativos**. 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257678/1/Biz\\_CarlosEduardo\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257678/1/Biz_CarlosEduardo_M.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

DUARTE, Juliana Ferreira. **Aspetos do Dimensionamento de Painéis Pré-fabricados de Fachada em GRC do Tipo Nervurado**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra,

2014. Disponível em: <<https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/14070/1/Juliana-Duarte.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018.

FREITAS, Harisson Silva de. **Análise numérica de painéis pré-moldados de fechamento em edificações de pequena altura**. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14172/1/d.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018

GUIMARÃES, Joao Rafael Braga. **Painéis pré-fabricados em GRC**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2016. Disponível em: <[http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/9173/1/DM\\_JoaoGuimaraes\\_2016\\_MEC.pdf](http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/9173/1/DM_JoaoGuimaraes_2016_MEC.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

HURTADO, Juan Francisco Sánchez. **Paneles prefabricados de hormigón en fachadas**. 2010. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2010. Disponível em: <[http://oa.upm.es/4518/1/TESIS\\_MASTER\\_JUAN\\_FRANCISCO\\_SANCHEZ\\_HURTADO.pdf](http://oa.upm.es/4518/1/TESIS_MASTER_JUAN_FRANCISCO_SANCHEZ_HURTADO.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2018

IGLESIAS, Tiago Borges. **Sistemas construtivos em concreto pré-moldado**. 2006. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006. Disponível em: <[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46020469/civil-33.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1524239142&Signature=g288ogKXj9fABxNrbLM+rPotvk0=&response-content-disposition=inline;filename=UNIVERSIDADE\\_ANHEMBI\\_MORUMBI.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46020469/civil-33.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1524239142&Signature=g288ogKXj9fABxNrbLM+rPotvk0=&response-content-disposition=inline;filename=UNIVERSIDADE_ANHEMBI_MORUMBI.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

*INTERNATIONAL GLASSFIBER REINFORCED CONCRETE ASSOCIATION.*  
**VERSION 1.1:** Practical Desing Guide for GRC. Northampton: Grca, 2015.  
Disponível em: <<https://www.grca.org.uk/grc-technical/publications.php>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/pt-br.php>>. Acesso em: 24 jul. 2018.

LAMEIRAS, Rodrigo de Melo. **Contribuição ao estudo das propriedades dos materiais cimentícios reforçados com fibras de vidro (glass fibre reinforced cement – GRC)**. 2007. 255 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15873/000692259.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 abr. 2018



MALLMANN, Patrícia Fiegenbaum. **Concreto de Pós Reativos: adição de nanosílica**. 2013. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/78225/000896901.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2014.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J.. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Luciana\\_Oliveira21/publication/304675136\\_Tecnologia\\_de\\_paineis\\_pre-fabricados\\_arquitetonicos\\_de\\_concreto\\_para\\_emprego\\_em\\_fachadas\\_de\\_edificios/links/5776a95408aead7ba071cffa/Tecnologia-de-paineis-pre-fabricados-arquitetonicos-de-concreto-para-emprego-em-fachadas-de-edificios.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Luciana_Oliveira21/publication/304675136_Tecnologia_de_paineis_pre-fabricados_arquitetonicos_de_concreto_para_emprego_em_fachadas_de_edificios/links/5776a95408aead7ba071cffa/Tecnologia-de-paineis-pre-fabricados-arquitetonicos-de-concreto-para-emprego-em-fachadas-de-edificios.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

OLIVEIRA, Luciana Alves de; SABBATINI, Fernando Henrique. **Fachadas em painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto: estudo de caso**. 2004. Disponível em: <[ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC\\_2004/trabalhos/PAP0160d.pdf](ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0160d.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

OLIVEIRA, Luciana Alves de; SOUZA, Ubiraci E.I.; SABBATINI, Fernando Henrique. **Produtividade da mão-de-obra na execução de vedação de fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto**: 2002. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002\\_1741\\_1750.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1741_1750.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2018.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; MONTARDO, Julio P.. A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - IBRACON, 44., 2002, Belo Horizonte. **Artigo**. 2002. Disponível em: <<http://www.csl.com.br/home/painel/arquivos/Image/A%20INFLUENCIA%20DA%20ADICAO%20DE%20FIBRAS%20DE%20POLIPROPILENO%20NAS%20PROPRIEDADES%20DOS.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2018

SERAFIM, Diego; LICETTI, Juliana do Carmo. **Análise do desempenho de três tipos de cimento no Concreto de Pós Reativos**. 2012. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/772/1/CT\\_TCC\\_2012\\_1\\_08.PDF](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/772/1/CT_TCC_2012_1_08.PDF)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

SERRA, S.m.b.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N.. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. 2005. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/164.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2018

SILVA, Vanessa Gomes da. **Diretrizes para o Projeto de Painéis de Fachada em Cimento Reforçado com Fibras de Vidro**. 1998. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Vanessa\\_Silva22/publication/33766651\\_Diretrizes\\_para\\_o\\_projeto\\_de\\_paineis\\_de\\_fachada\\_em\\_cimento\\_reforcado\\_com\\_fibras\\_de\\_vidro/links/5604ad5808aeb5718ff012af.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vanessa_Silva22/publication/33766651_Diretrizes_para_o_projeto_de_paineis_de_fachada_em_cimento_reforcado_com_fibras_de_vidro/links/5604ad5808aeb5718ff012af.pdf)>. Acesso em: 23 abr. 2018.

SILVA, Vanessa Gomes da; JOHN, Wanderley Moacyr. **Painéis em Cimento Reforçado em Fibras de Vidro (GRC)**. 1998. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00228.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00228.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2018.

TEMOCHE-ESQUIVEL, Juan F.; TOMAZETTI, Rodrigo R.; BARROS, Mércia M. S. B.; SABBATINI, Fernando Henrique. **Painéis pré-fabricados de concreto em fachadas de edifícios: inovação tecnológica consolidada?** 2006. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006\\_3307\\_3316.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3307_3316.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2018.

TUTIKIAN, Bernardo F.; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. **Concreto de alto e ultra-alto desempenho**. 2011. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc53.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VAN ACKER, Arnold. **Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto**. 2002. Disponível em: <[https://www.ft.unicamp.br/~cicolin/ST\\_725\\_A/mpf.pdf](https://www.ft.unicamp.br/~cicolin/ST_725_A/mpf.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2018.

VANDERLEI, Romel Dias. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. 2004. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00228.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00228.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VANDERLEI, Romel Dias; GIONGO, José Samuel. **Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas**. 2006. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova-versao/pdf/cee33\\_115.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova-versao/pdf/cee33_115.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2018.

VEFAGO, Luiz H. M.; BARTH, Fernando. **Fachadas com painéis pré-fabricados em grc no sul do brasil.**2006. Disponível em:  
<[http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006\\_3317\\_3326.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3317_3326.pdf)>.  
Acesso em: 23 abr. 2018

VICENZI, Taís Delvina. **Glassfibre reinforced concrete (GRC) análise das dificuldades de inserção no mercado nacional de painéis fabricados em concreto reforçado com fibra de vidro.** 2015. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em:  
<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/138341/000989622.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 23 abr. 2018.



**UNIVATES**

R. Avelino Talini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95914.014 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09